



## 第八章 电气控制系统

# 内容

# 要求

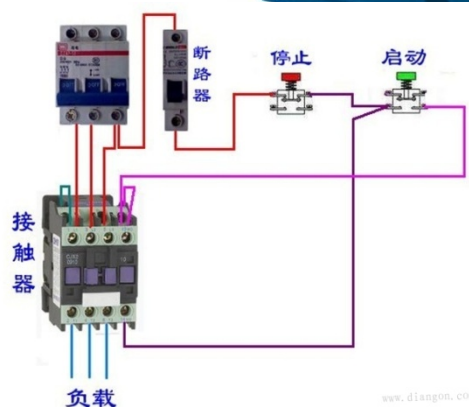
- 三相异步电动机的典型控制电路
- 电气控制线路设计的基本原则
- 电气控制线路的设计方法
- 电气控制线路的绘制
- 复杂电气控制系统分析与设计
- 了解三相异步电动机的典型控制电路
- 熟悉电气控制线路设计的基本原则
- 掌握电气控制线路的设计方法
- 掌握电气控制线路的绘制
- 理解复杂电气控制系统分析与设计方法
- 了解车床电气控制系统

# 什么是电气控制系统？

- 工农业的机由设备主要有机械和电气控制两大部分组成，很多场合下需要用到电动机实现电能到机械能的转换。
- 由电器、电动机、导线、控制器(更先进的自动化系统中)有机连接构成了电气控制系统。
- 本章所述电气控制系统是传统的电气控制系统，只有主电路和辅助控制电路组成

▣ 主电路为电动机提供电力和保护----线路较简单且典型

▣ 辅助控制电路根据实现功能确定，有的简单，有的复杂。



# 三相异步电动机的典型控制电路

- 一个复杂的电气控制系统通常是在典型控制电路的基础上进行修改、完善和综合完成的。
- **继电器-接触器控制**是电气控制系统中最简单、应用最广泛的控制方式---重点
- 需要考虑的问题
  - ▣ 构成一个完整的电气控制系统有哪些部分？**主电路和控制电路**
  - ▣ 需要考虑些什么？(如何选型？如何实现保护？)
  - ▣ 主电路部分如何与电源实现连接？
  - ▣ 控制电路部分如何实现需要的逻辑？**有机的组合**
- 三相异步电动机常用典型控制电路
  - ▣ 异步电动机直接起动控制
  - ▣ 异步电动机降压起动控制
  - ▣ 异步电动机的制动控制

# 电气控制系统构成与电器选型

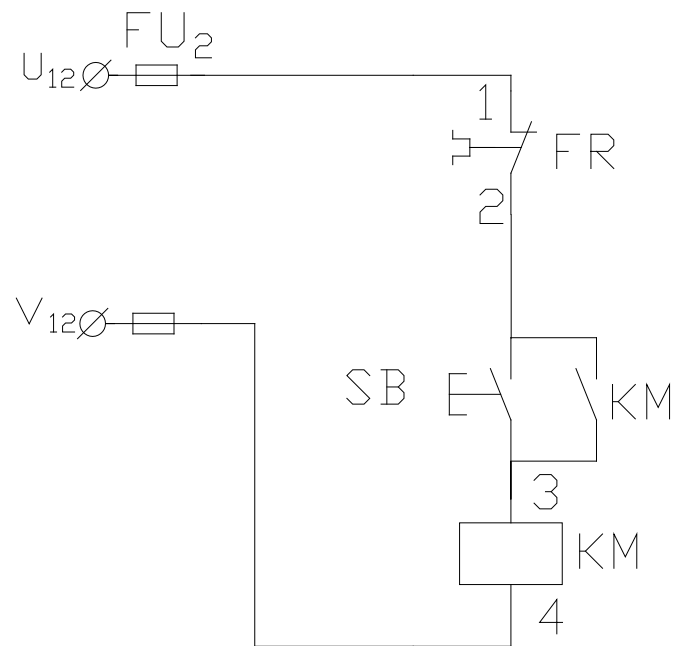
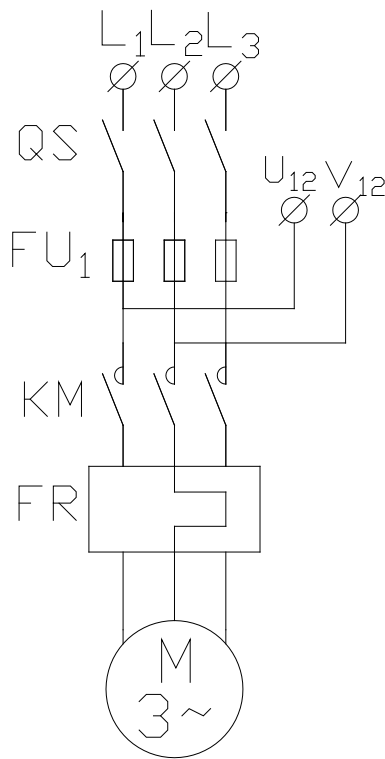
- 例：设异步电动机： $P_N=2\text{kW}$ ,  $U_N=380\text{V}$ ,  $I_N=5.85\text{A}$ ，构造电气控制系统需要些什么电器？如何选择？
- 一个电气控制系统的构成：**主电路、控制电路**
- 主要含电动机、刀开关和熔断器(或断路器)、热继电器、接触器、控制按钮等。
- 接触器的选择： $U_N=380\text{V} \rightarrow$  主触头的额定电压选为AC380V
- $I_N=5.85\text{A} \rightarrow$  主触头的额定电流(考虑电机起电流)选为大于  $6 \times 5.85\text{A}$ ，取40A  $\Rightarrow$  CJ10-40
- 刀开关选择：单投型即可满足要求，同时满足额定电流大于40A，带有灭弧罩比较安全，应有手柄  $\Rightarrow$  HD系列
- 主电路熔断器选择：电动机功率不太大，RL系列可以满足过载及短路保护，用于保护单台长期工作电动机（即供电支线） $I_{rN} \geq (1.5 \sim 2.5) I_N$ ，所以 $I_{rN} \geq 15\text{A}$ 。又考虑到电机起动电流的存在，取 $I_{rN}=36\text{A}$ 。 $\Rightarrow$  RL1-60
- 控制电路熔断器选择：电流较小 $\Rightarrow$  RC1A-5 熔断器额定电流5A 熔体额定电流2A
- 热继电器选择：电机长期工作，热继电器额定电流大于电机额定电流，选择20A，可忽略起动瞬时电流影响，其热元件额定电流选7.2A  $\Rightarrow$  JR26-20/3D

# 异步电动机直接起动控制

- 点动控制
- 单向直接起停控制
- 具有点动、起动和停止功能的控制
- 多地点控制
- 联锁控制
- 正、反转控制    机械联锁与电气联锁
- 行程控制

# 点动控制

- 什么叫点动控制？  
希望操作按钮，按一下转一下
- 按一下转一下 ← 按一下，主电路接触器吸合一下，松开，接触器断开 ← 按一下，控制电路接触器线圈通电，松开，接触器线圈断电

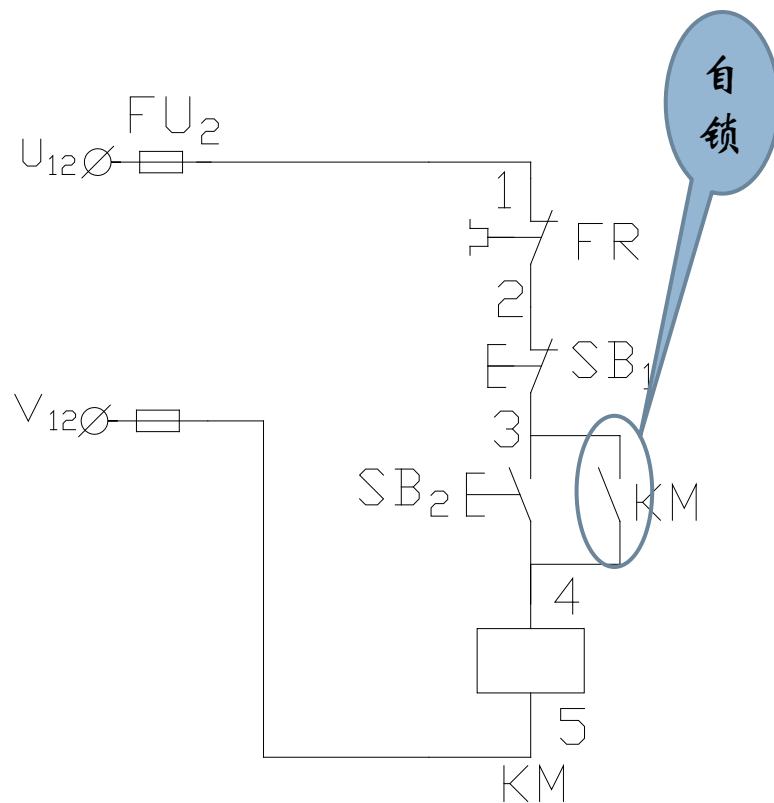
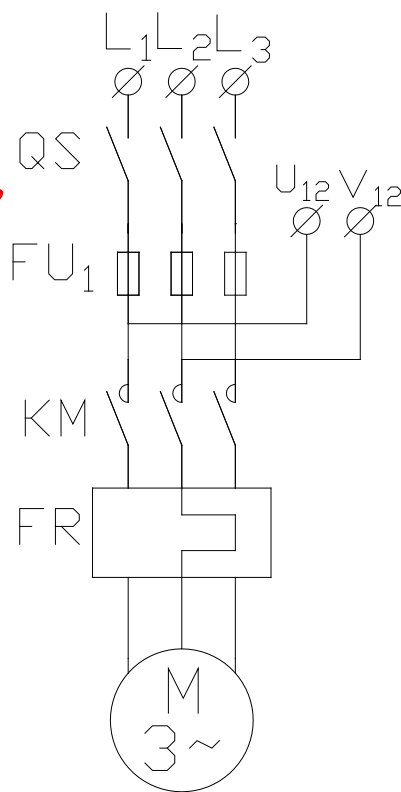


思考：同时使用热继电器与熔断器的原因是什么？它们各自的作用是什么？同时对线路与设备进行保护。。。。

# 单向直接起停控制

□ 单向直接起停：按下启动控制按钮后，电动机单方向持续运转，要使电机停车，按下停止按钮即可。分析右图原理

□ 自锁作用：按钮SB<sub>2</sub>并联了一个交流接触器KM的常开辅助触点（自锁触点），以保证启动后KM线圈持续带电，电机持续运转，这种作用称为自锁



思考：该电路中有哪些保护？

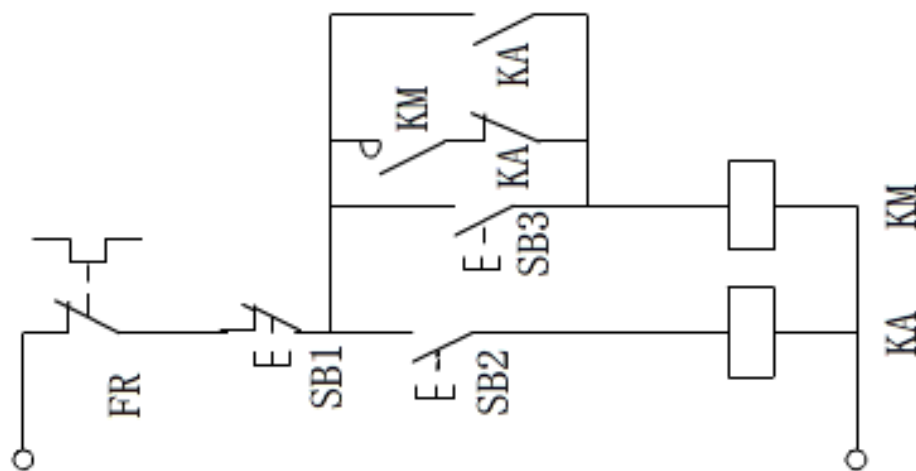
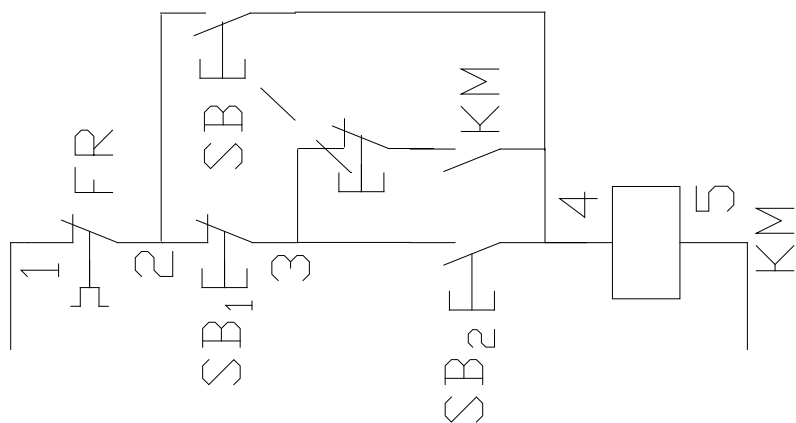
思考：对上图的电气控制线路进行修改，使其具有点动、启动和停止功能？



# 具有点动、启动和停止功能的控制

## □ 具有点动、启动和停止功能

- ▣ 2-4端并上一个常开操作按钮，同时在自锁支路上串一个与该常开按钮联锁的常闭按钮
- ▣ 利用中间继电器



# 多地点控制

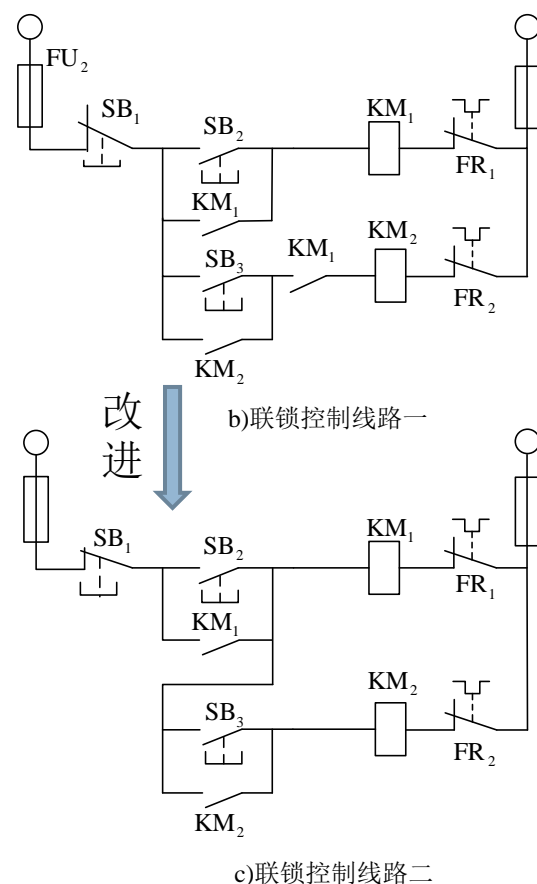
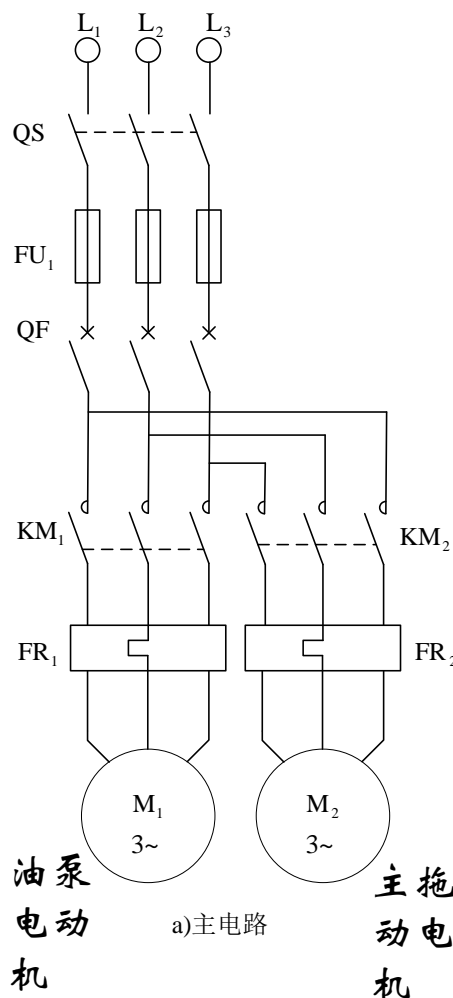
- 电梯在在梯厢内能在里面控制；在任意一层的楼道上也能控制---多地点控制
- 多组按钮控制连接原则：
  - ▣ 各地点起动按钮的常开触点并联
  - ▣ 各停车按钮的常闭触点串联
- 思考：如何改造具有点动、起动和停止功能的控制电路，使其具体多地点动、起动和停止？



# 联锁控制---顺序启动

自动生产线由许多运动部件组成，电机的运转有先后顺序，不同运动部件之间有联系又互相制约，实现这种控制称为**联锁**。

例如，机械加工车床的主轴(由主拖动电机出力)必须在油泵电动机启动后，并使齿轮箱有充分的润滑油后才能启动等。



# 正、反转控制-1

## □ 正反转的应用场合

- ▣ 机械设备左右、前后、上下的移动，均涉及电动机的正反转

## □ 如何让电机正转、反转

- ▣ 将接入的三相电源的任意两根相线对调位置

## □ 需要的物质基础

- ▣ 两个接触器，分别负责对调前后的接线
- ▣ 正反转操作按钮与停止按钮，提供人机接口

## □ 注意事项

- ▣ 自锁的应用
- ▣ 考虑可靠性

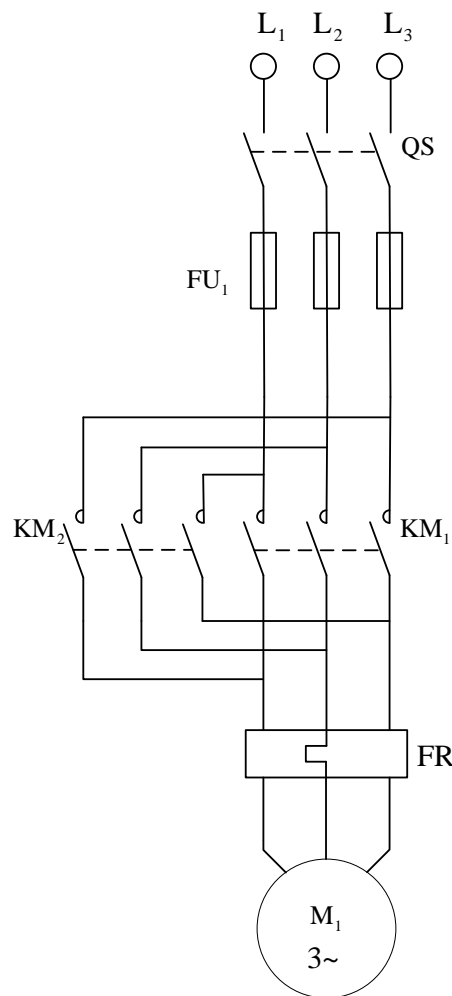
# 正、反转控制-2

## 两种电路

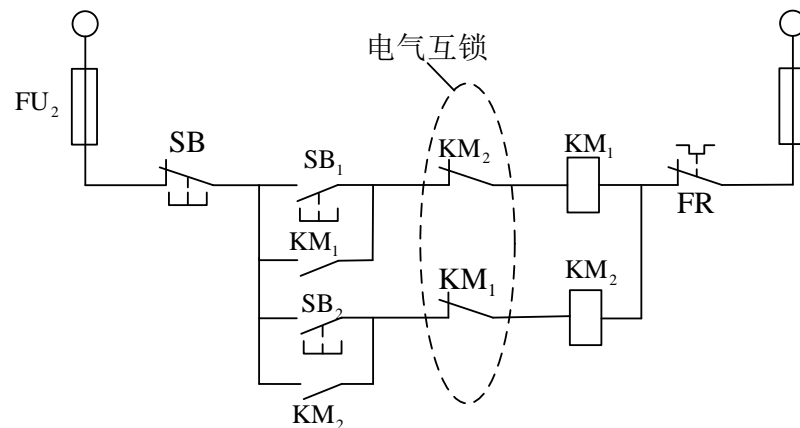
电气互锁

电气与机械  
双重互锁

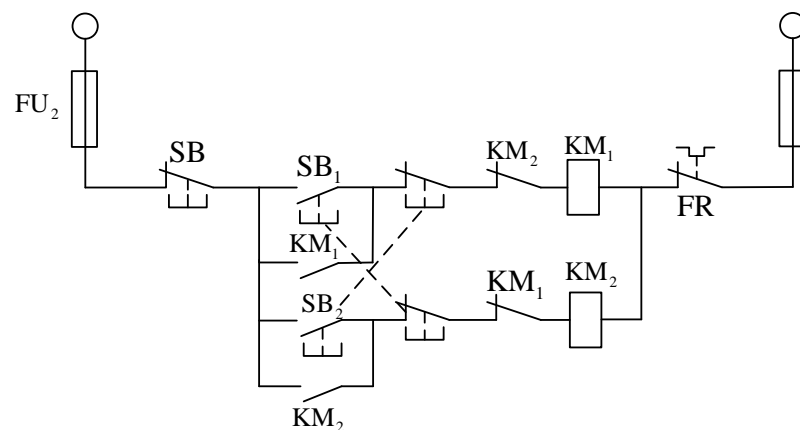
后一种比前  
一种更可靠



a) 主电路



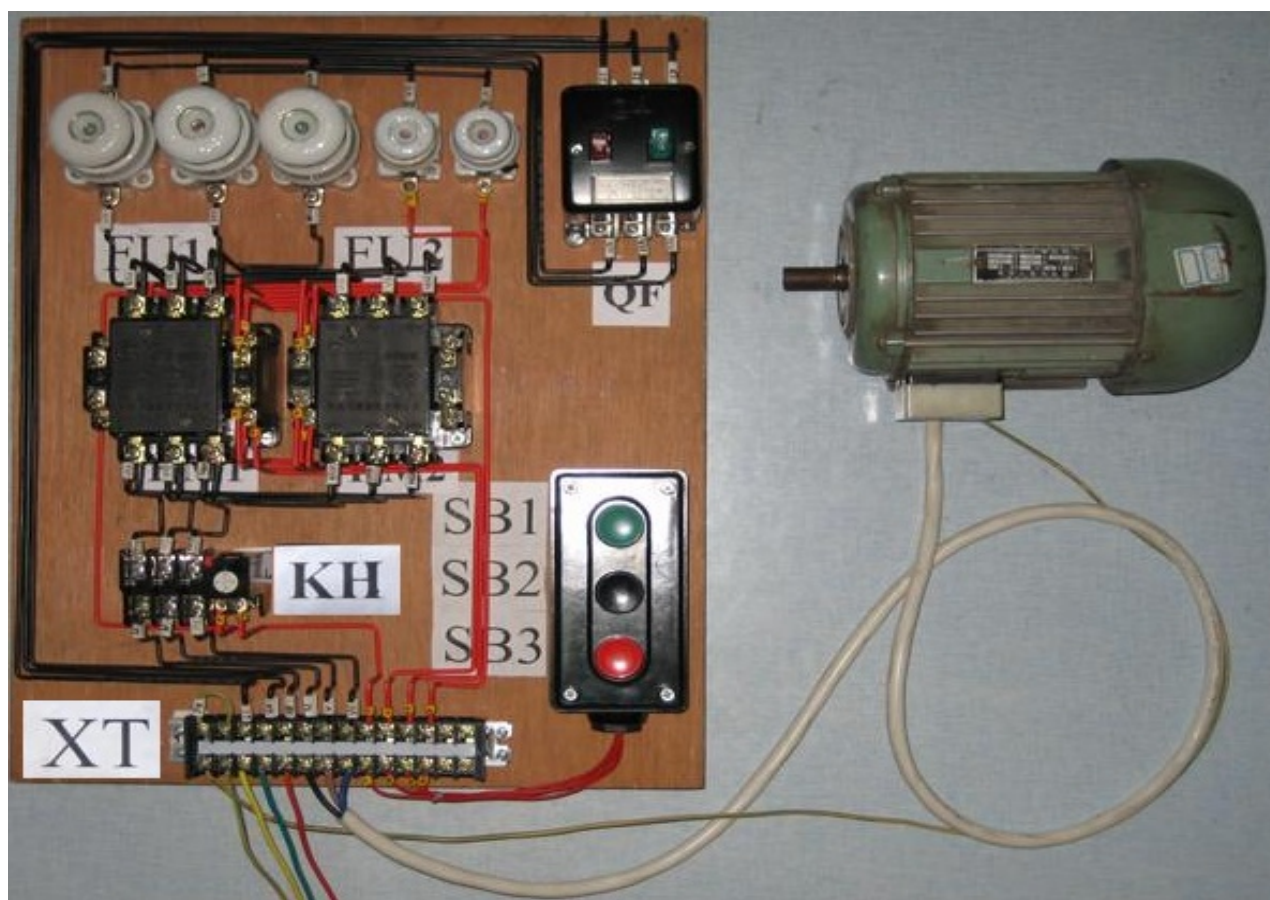
b) 电气互锁控制电路



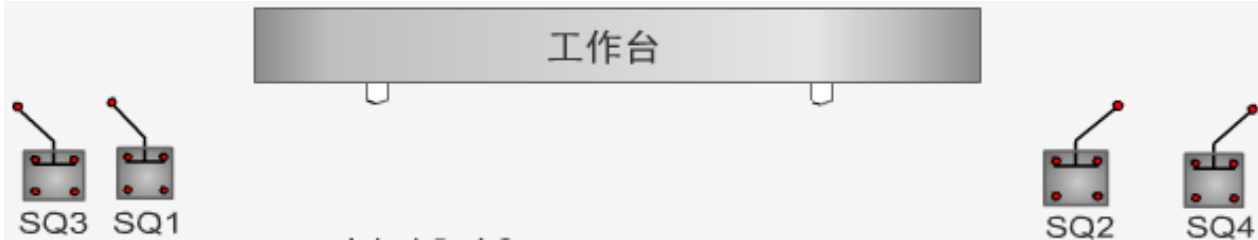
c) 具有电气和按钮双重互锁控制电路

# 正、反转控制-3

- 具有电气和机械双重互锁控制的实际接线图



# 行程控制-1



- 对象：往返运行的工作台----电动机需要正反转
  - SQ1----反向变正向行程开关(一般用复合开关)
  - SQ3----反向极根行程开关(常闭)：超过就断开，避免事故
  - SQ2----正向变反向行程开关(一般复合开关)
  - SQ4----正向极根行程开关(常闭)：超过就断开，避免事故
- 在正反转控制的基础上，添加行程开关、复合行程开关、时间继电器、复合按钮等构成各种自动行程控制电路
- 两类
  - 单循环自动往返
  - 全自动往返

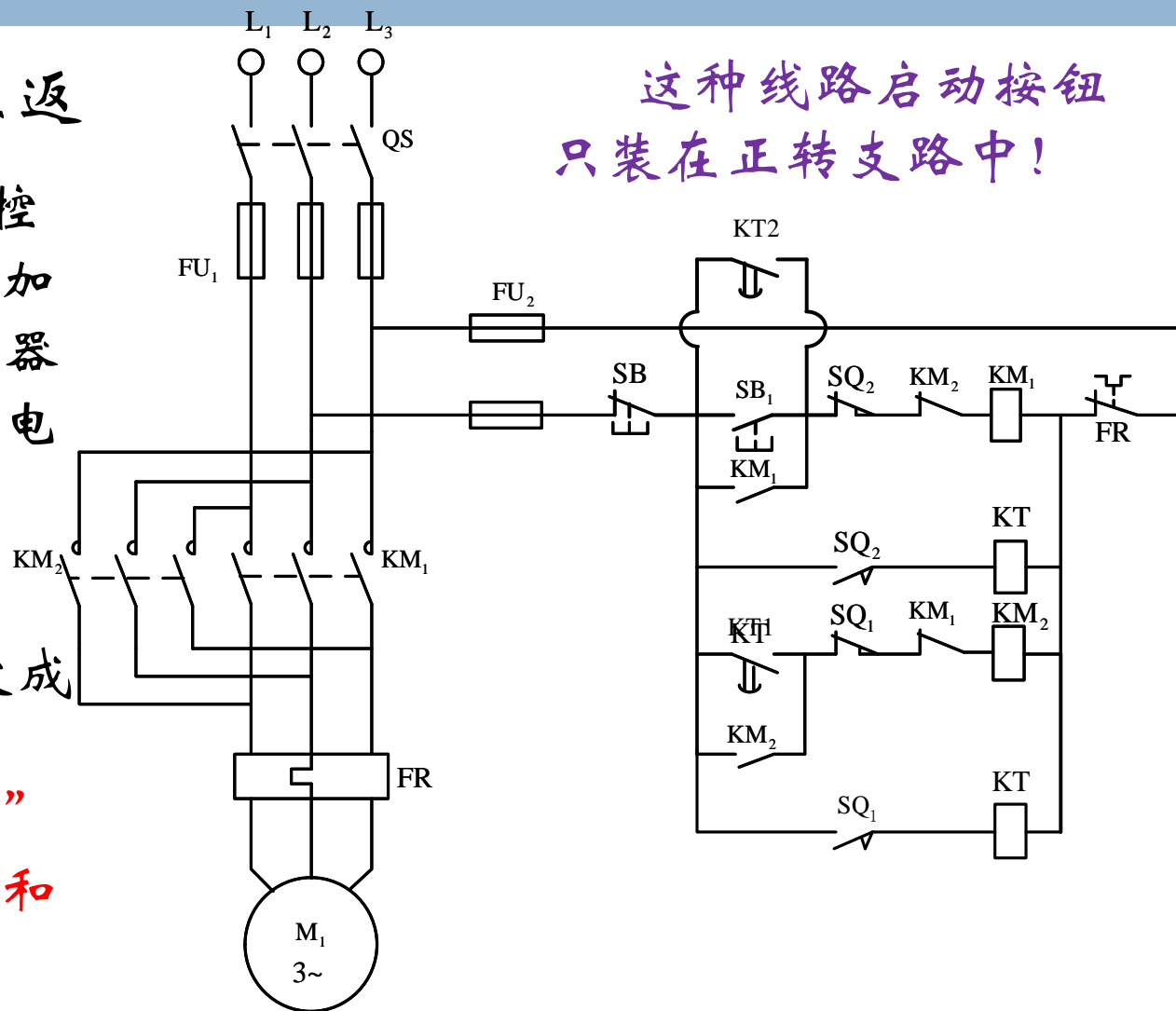
# 行程控制-2

## □ 单循环自动往返

在电动机正反转控制电路的基础上，添加行程开关及时间继电器可构成自动循环控制电路。

思考：如何将右图改成全自动的？

提示：仿照“回行程”添加相应的延时继电器和触点及行程开关。



这种线路启动按钮只装在正转支路中！

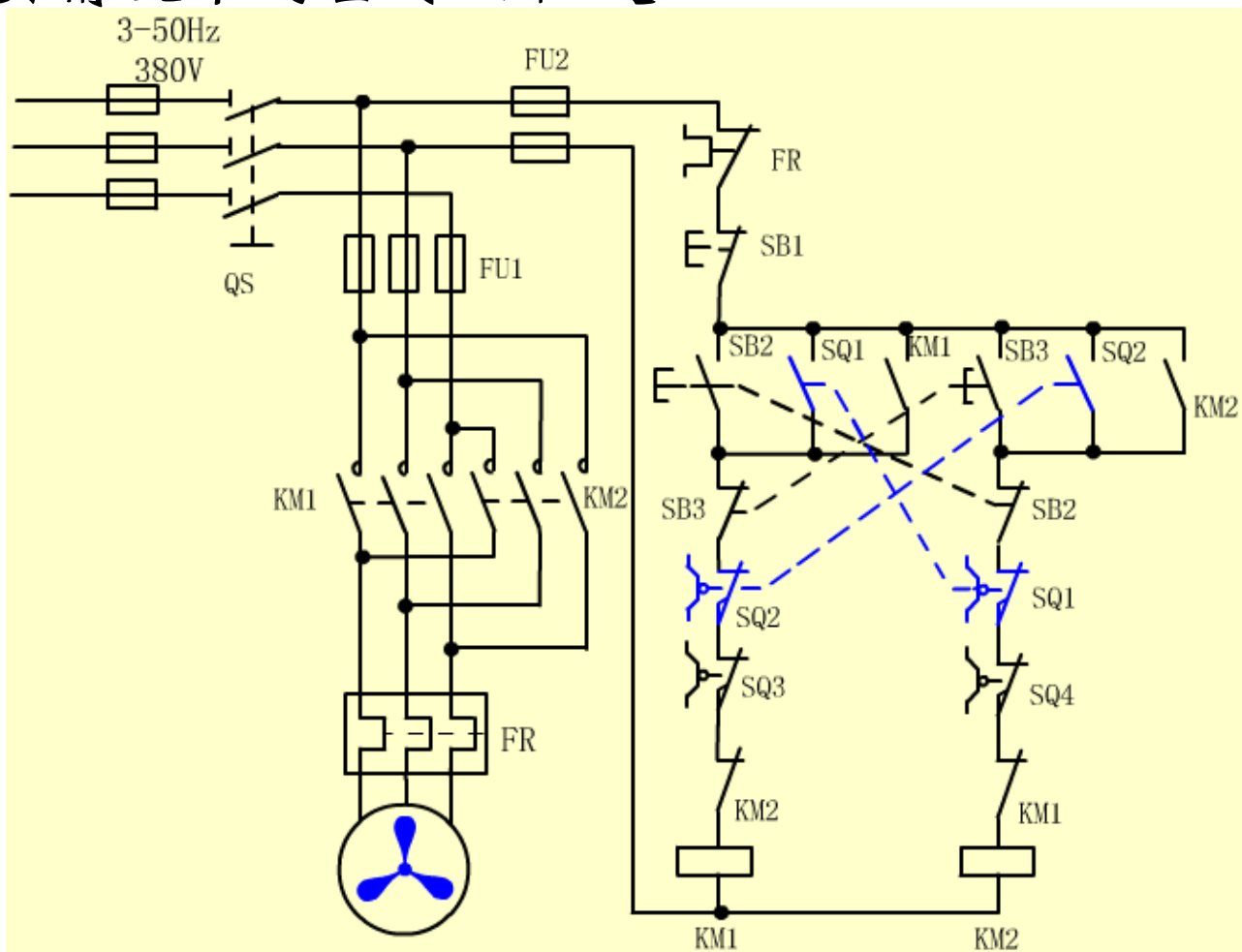


# 行程控制-3

## □ 含有极限开关情况下的全自动往返

特点:

- (1) 电气互锁
- (2) 按钮互锁
- (3) 行程开关互锁
- (4) 极限保护
- (5) 正转支路和反转支路均有启动按钮。



# 异步电动机降压起动控制

- 全压起动：启动时加在电动机定子绕组上的电压为电动机的额定电压。
- 降压起动：利用起动设备将电压适当降低后，加到电动机的定子绕组上进行起动，待电动机起动运转后，再使其电压恢复到额定电压正常运转。
- 为何引入降压起动？
  - ▣ 异步电动机起动电流高达额定电流的4-7倍，当起动频繁时，由于热量的积累，会使电机过热。而电机起动电流近似的与定子的电压成正比，因此要采用降低定子电压的办法来限制起动电流。
  - ▣ 同时，电动机过大的启动电流在短时间内会在线路上造成较大的电压降，而使负载端的电压降低，影响邻近负载的正常工作。

# 异步电动机降压起动控制

## □ 全压起动与降压起动的原则：

- 用电单位如有独立的变压器，则在电动机起动频繁时，电动机容量小于变压器容量的20%时允许直接起动。
- 如果电动机不经常启动，它的容量小于变压器容量的30%时允许直接起动。
- 如果没有独立的变压器（与照明共用），电动机直接起动时所产生的电压降不应超过线路电压的5%。
- 一般小容量的异步电动机，如10kW以下的都是采用全压直接起动的。

# 异步电动机降压起动控制

## □ 应用场合

- 因直接起动冲击电流过大而无法承受，并且对起动转矩要求不高的场合。

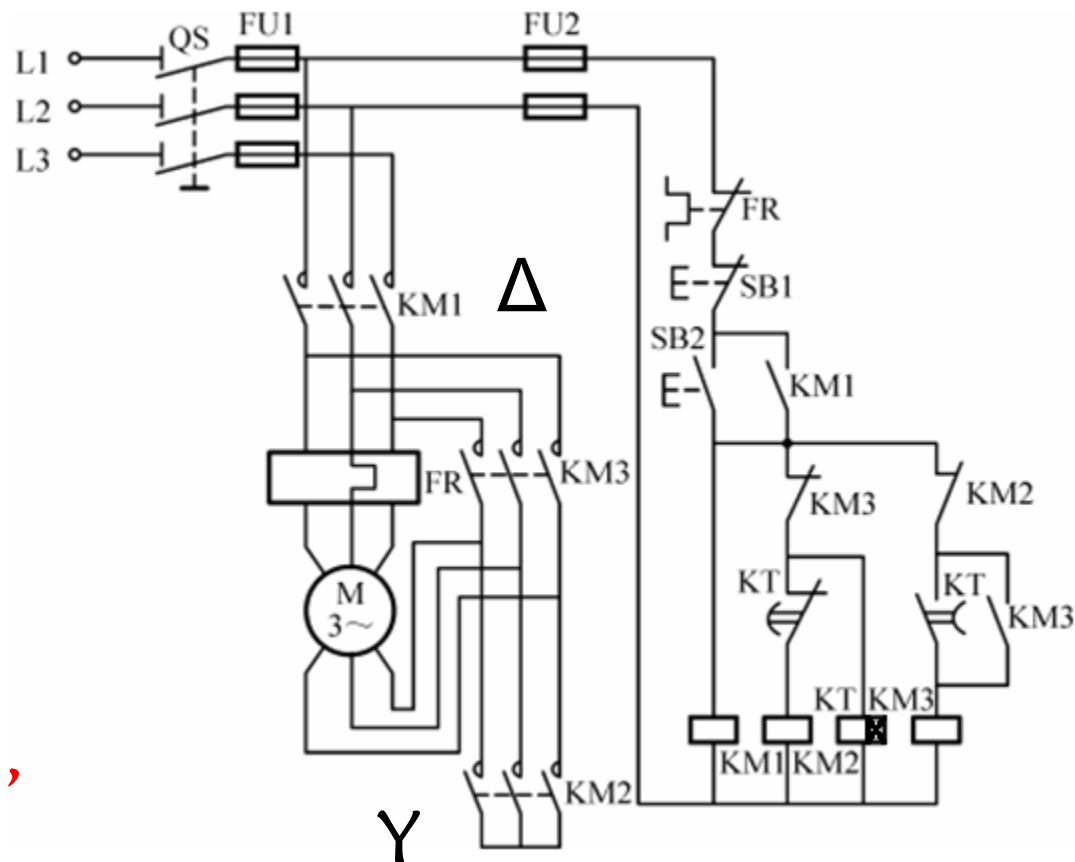
## □ 种类：

- Y- $\Delta$  降压启动控制-正常工作是 $\Delta$
- 自耦降压启动控制-正常工作是Y
- 定子串电阻降压启动-正常工作是Y
- 延边三角启动-正常工作是 $\Delta$
- 电子式软启动器-要求高的场合



# Y- $\Delta$ 降压启动控制----正常工作在 $\Delta$

- Y联接加在定子上的电压是工频220V----绕组电流小
- $\Delta$ 联接加在定子上的电压是工频380V----绕组电流大
- 分析它的工作过程：...
- 注：在完成Y  $\Delta$  切换后，KT线圈即失电，避免时间继电器长期带电。



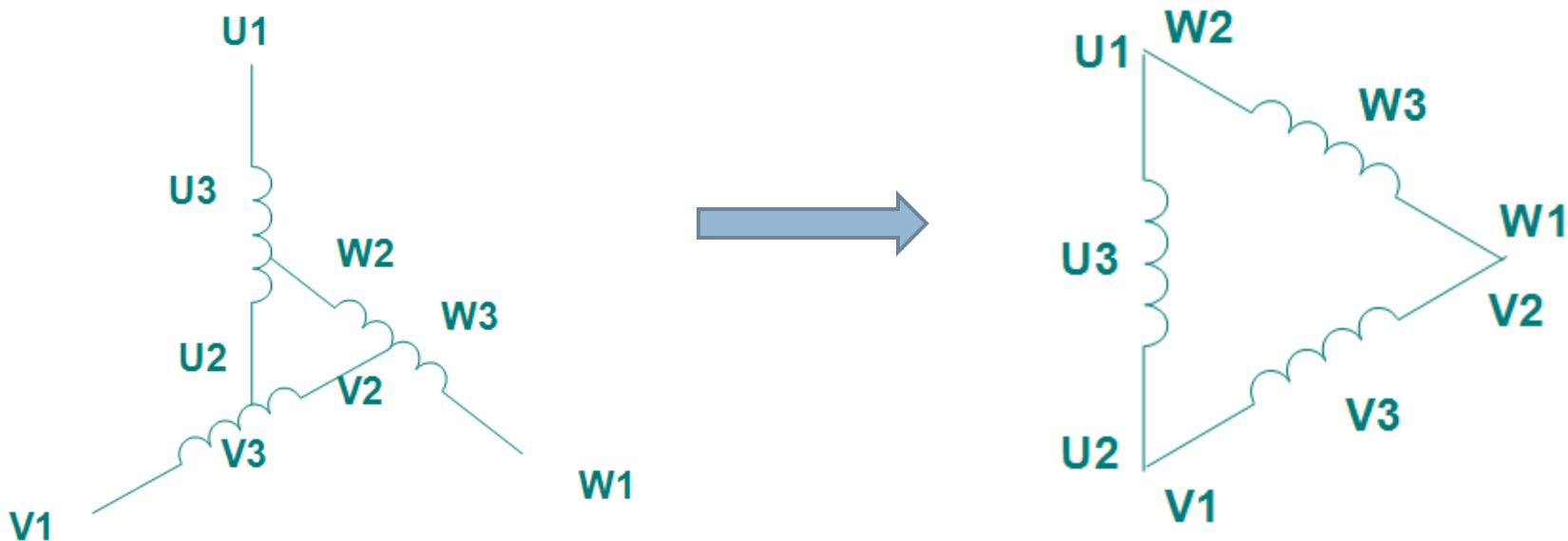
思考：有改进的地方吗？如何分析？

# 提高Y- $\Delta$ 自动起动器可靠性的几点措施

- 防止接触器主触点熔焊的措施：KM2三个主触点由原来的Y闭接法改为 $\Delta$ 闭接法
  - ▣ 接触器主触点的负载电流明显减少，减轻主触点的电气磨损、防止熔焊
  - ▣ 即使发生接触器一个主触点接触不良故障时，电路仍能形成Y点
- 防止电动机全压起动故障的措施：采用断电延时型时间继电器改进原控制电路。如何做？
- 防止电源相间短路的措施：在接触器KM3线圈起动电路中串接一个适量的电阻来延长接触器KM3的吸合动作时间，从而错开KM2主触点的燃弧时间

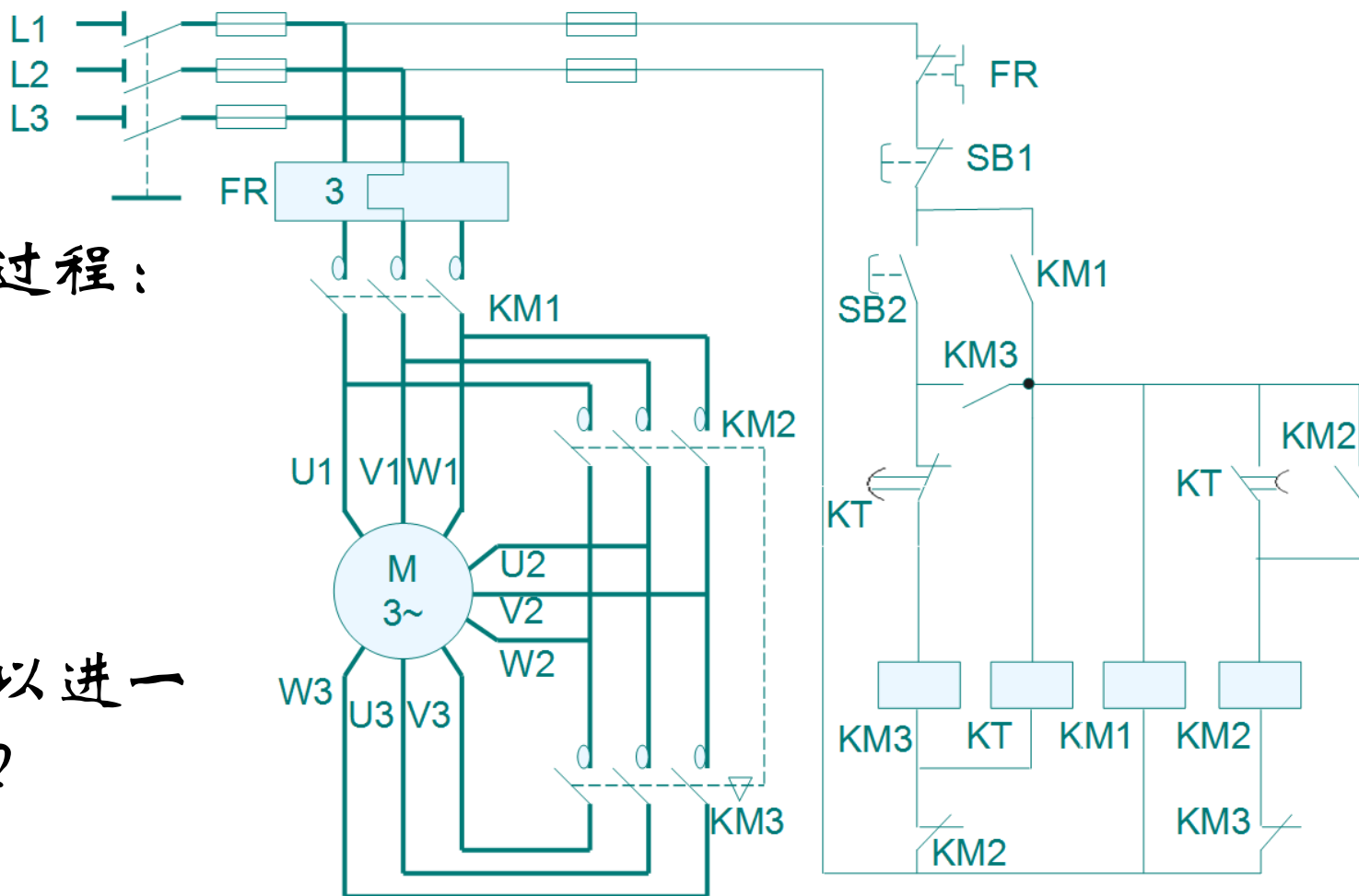
# 延边三角启动-----正常工作是 $\Delta$

- 启动时，把定子三相绕组的一部分联接成三角形，另一部分联接成星形，每相绕组上所承受的电压，比三角形联接时的相电压要低，比星形联接时的相电压要高。待电动机启动运转后，再将绕组联接三角形，全压运行。



# 延边三角启动-----正常工作是 $\Delta$

□ 这种方式电机必须将定子绕组的中间抽出引线



□ 分析工作过程:

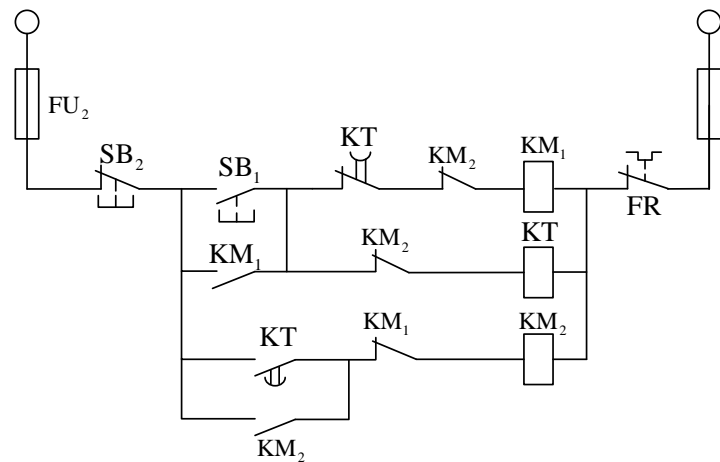
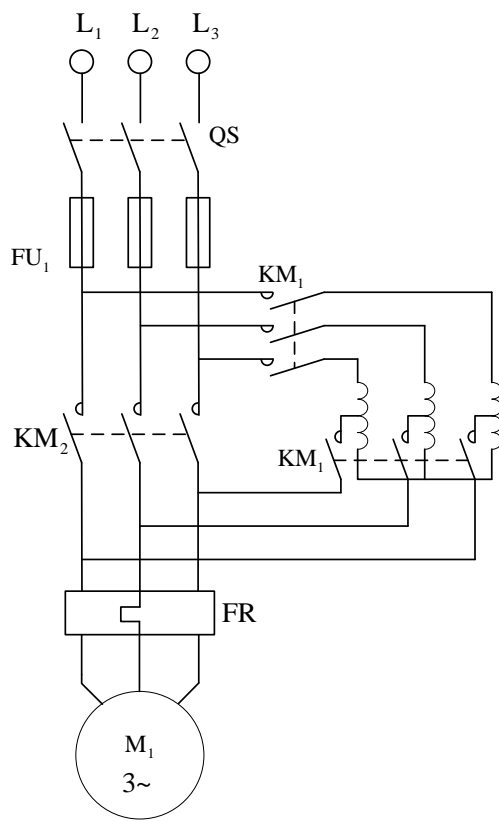
...

□ 思考: 可以进一步改进吗?



# 自耦降压启动控制----正常工作在Y

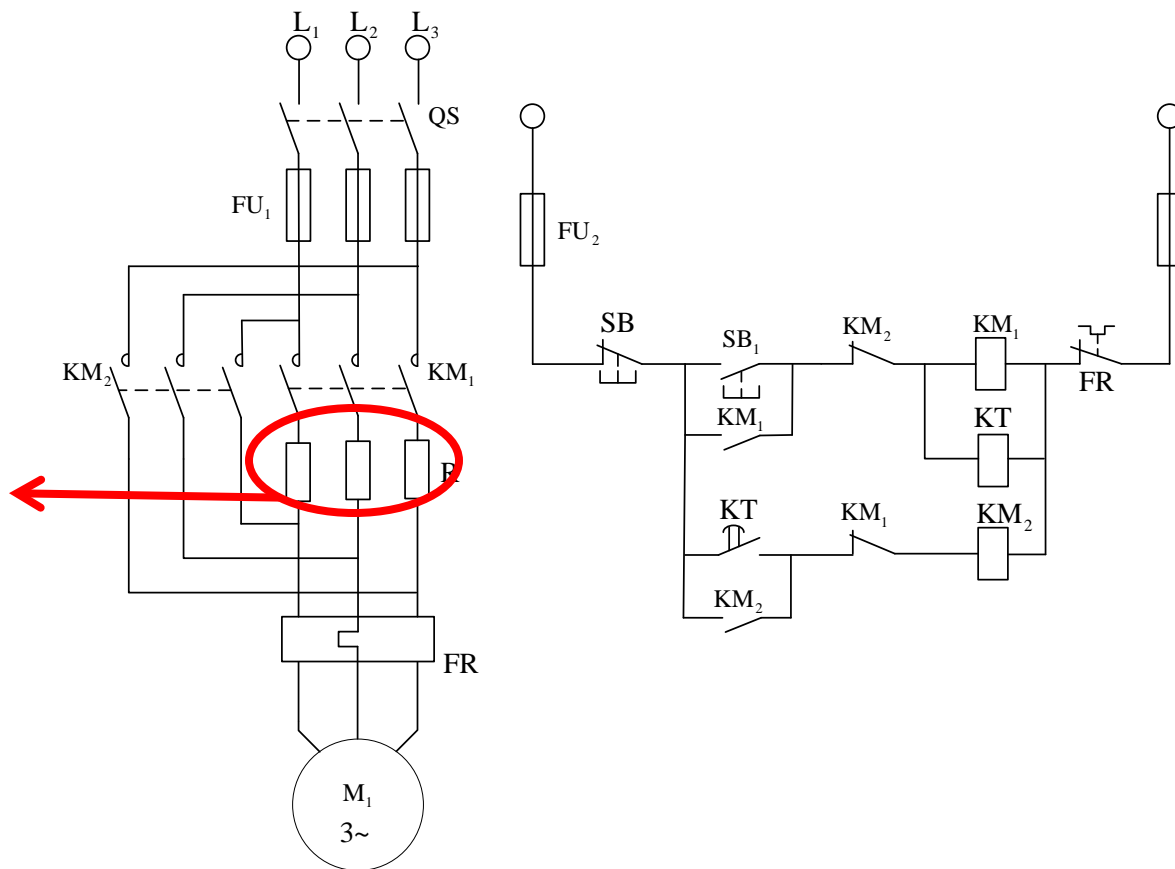
- 自耦变压器降压启动：在电动机启动时利用自耦变压器来降低加在电动机定子绕组上的启动电压。待电动机启动后，再使电动机与自耦变压器脱离，从而在全压下正常运行。
- 优点：启动时对电网的电流冲击小，功率损耗小
- 缺点：自耦变压器相对结构复杂，价格较高
- 应用场合：用于较大容量的电动机，以减小启动电流对电网的影响



# 定子串电阻降压起动-正常工作是Y

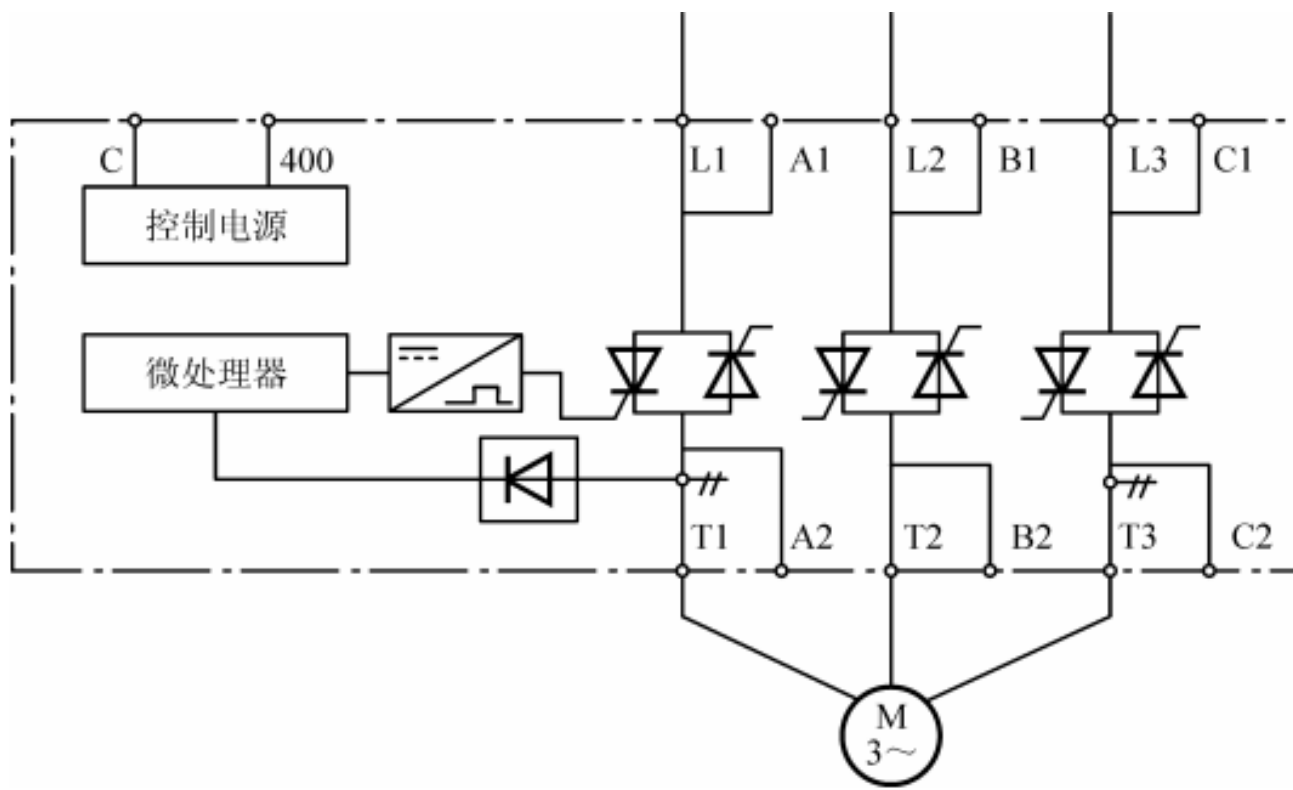
- 起动时在定子绕组上串上电阻，起动结束，将电阻旁路。

正常运行时  
旁路掉电阻

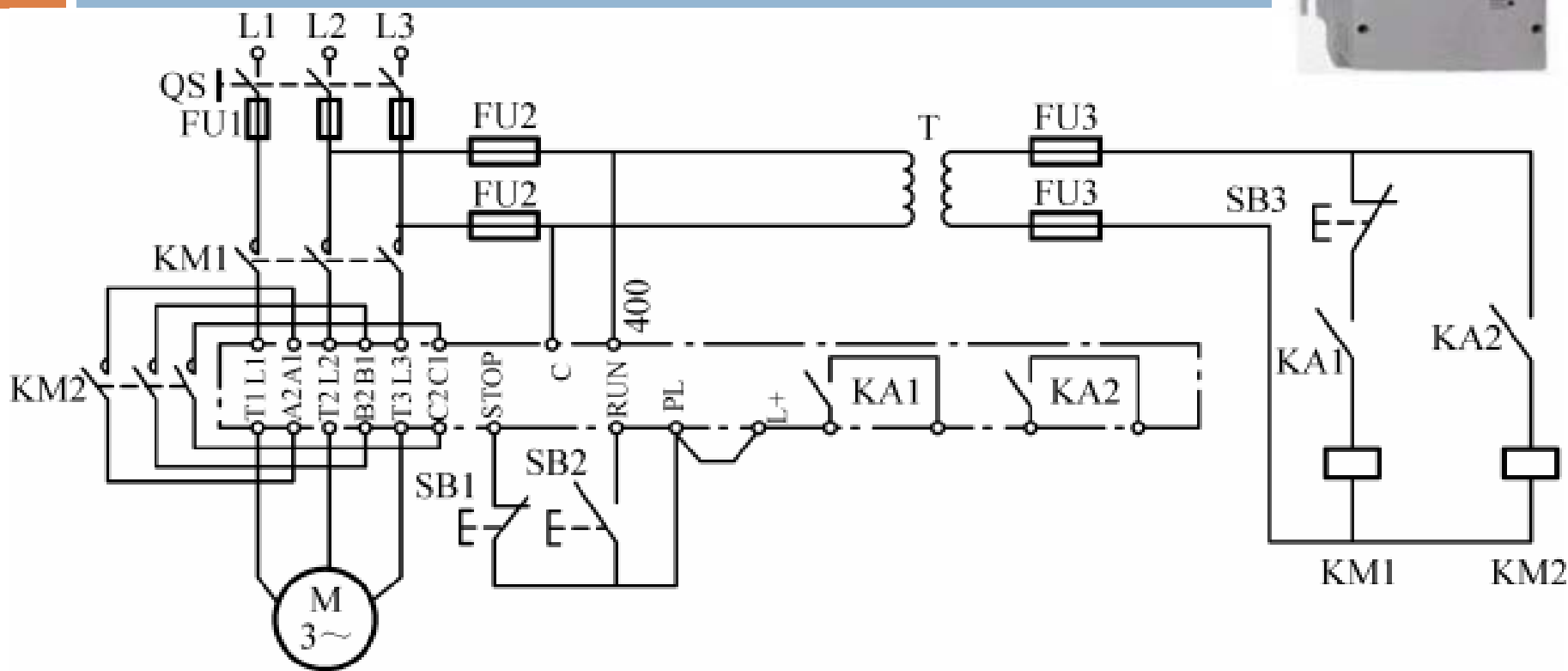


# 软启动器原理

- 在一些对启动要求较高的场合，可选用电子软启动方法：利用晶闸管的移相控制原理，通过控制晶闸管的导通角，改变其输出电压，达到通过调压方式来控制启动电流和启动转矩。



# 软启动器线路与应用



- 集成的装置具有软启动和软停车功能，启动电流、启动转矩可调节，另外还具有对电动机和软启动器本身的热保护、限制转矩和电流冲击、三相电源不平衡、缺相、断相等保护功能和实时检测并显示如电流、电压、功率因数等参数的功能。

# 异步电动机的制动控制

## □ 为什么要进行制动控制？

- 为满足生产机械的工艺要求或提高生产质量和效率，要求生产机械迅速停止和准确定位，即要求对电动机有效的制动。

## □ 制动方法

### □ 机械制动----通过物理力学方式抑制设备的现有运动

- 种类：轮式制动、盘式制动、抱闸式制动
- 优点：定位准确，制动效果较好
- 缺点：产生机械撞击，对设备、结构等损伤较大

### □ 电气制动----通过与驱使设备运动的运转方式相反的电气连接方式从而使设备达到加速停止的效果

- 种类：反接制动、能耗制动
- 优点：方法科学，可减小设备损伤
- 缺点：产生惯性滑动，因此不适合大功率电机

# 反接制动控制

## □ 工作原理

- 改变电动机定子绕组中三相电源的相序，产生与转子转动方向相反的制动转矩，从而使电机尽快停车。

## □ 控制原则

- 反接制动采用速度继电器，按转速原则进行控制。

## □ 特点：制动迅速，效果好，冲击大。

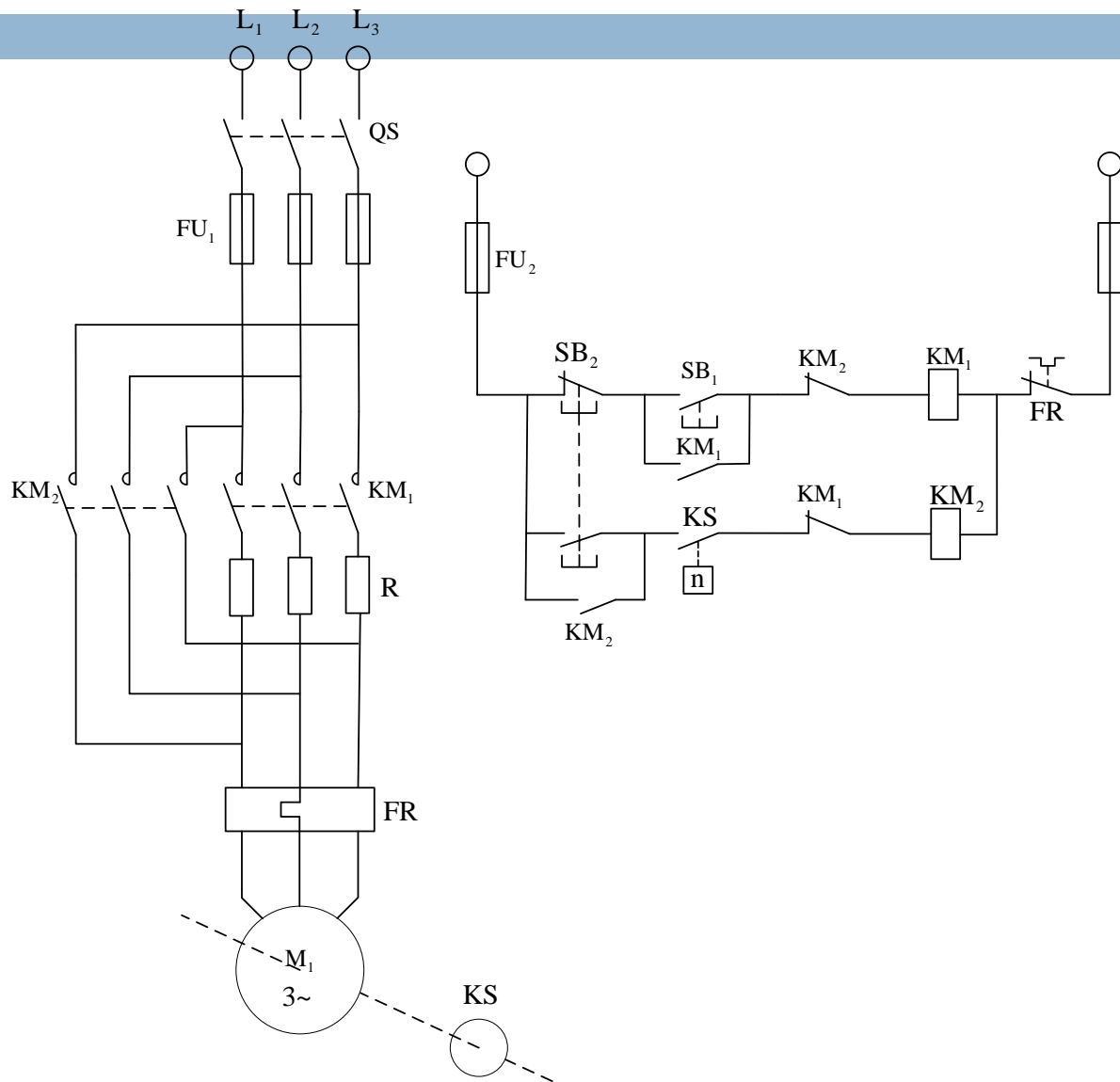
## □ 适用场合：仅适用于10 kW以下的小容量电动机。

## □ 注意事项

- 限制冲击电流：由于反接制动时旋转磁场相对于转子转速较高，电流较大，为了减小制动电流，常在定子回路中串入降压电阻 $R$ 以减小制动电流。
- 及时切除反向电源

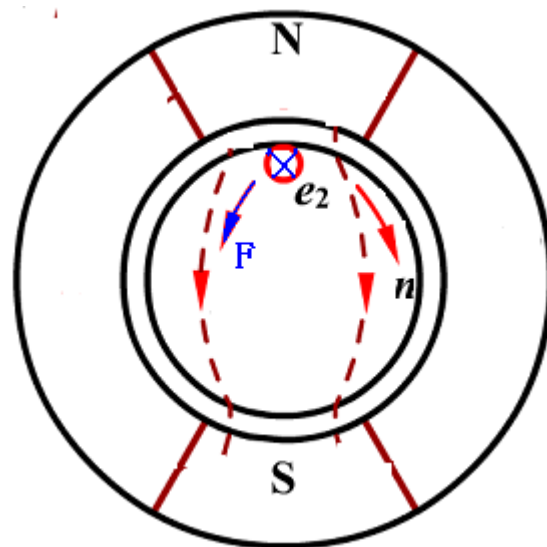
# 反接制动控制电路

- 速度断电器的常开触点在速度较高时处于闭合状态；速度低于某值时，切换到断开状态。
- 主电路交换相序后，电动机转速立即迅速下降。



# 能耗制动控制

□ **能耗制动**就是在运行中的三相异步电动机停车时，在**切除三相交流电源**的同时，将**一直流电源**接入电动机定子绕组中的任意两个绕组中，以获得大小和方向都不变化的**恒定磁场**，从而**产生**一个与电动机原来的转矩方向**相反的电磁转矩**以实现制动。当电动机转速下降到零速时，再切除直流电源。



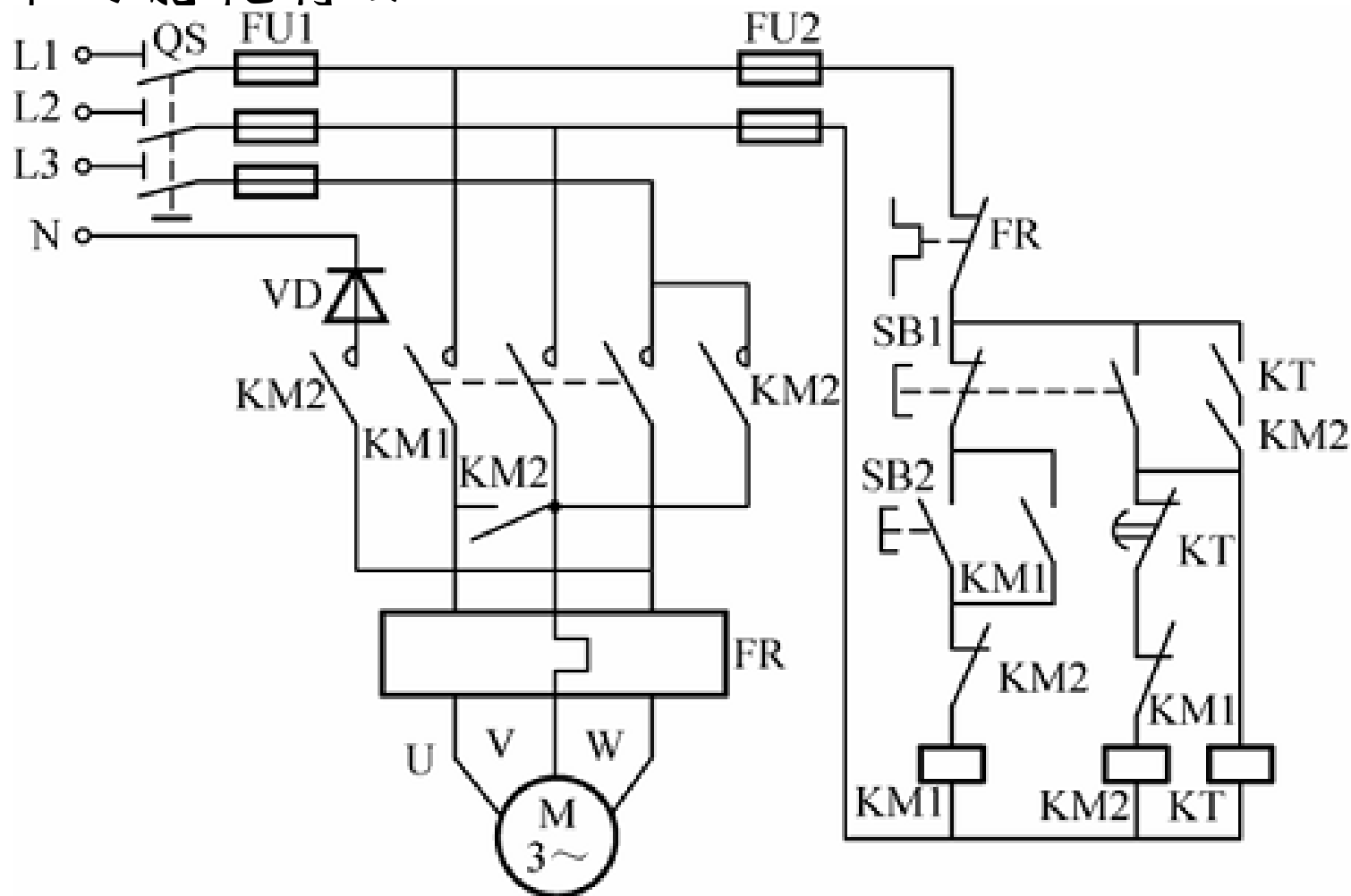
□ 根据制动控制的原则，实现方法一般分为

- **时间继电器控制**
- **速度继电器控制**



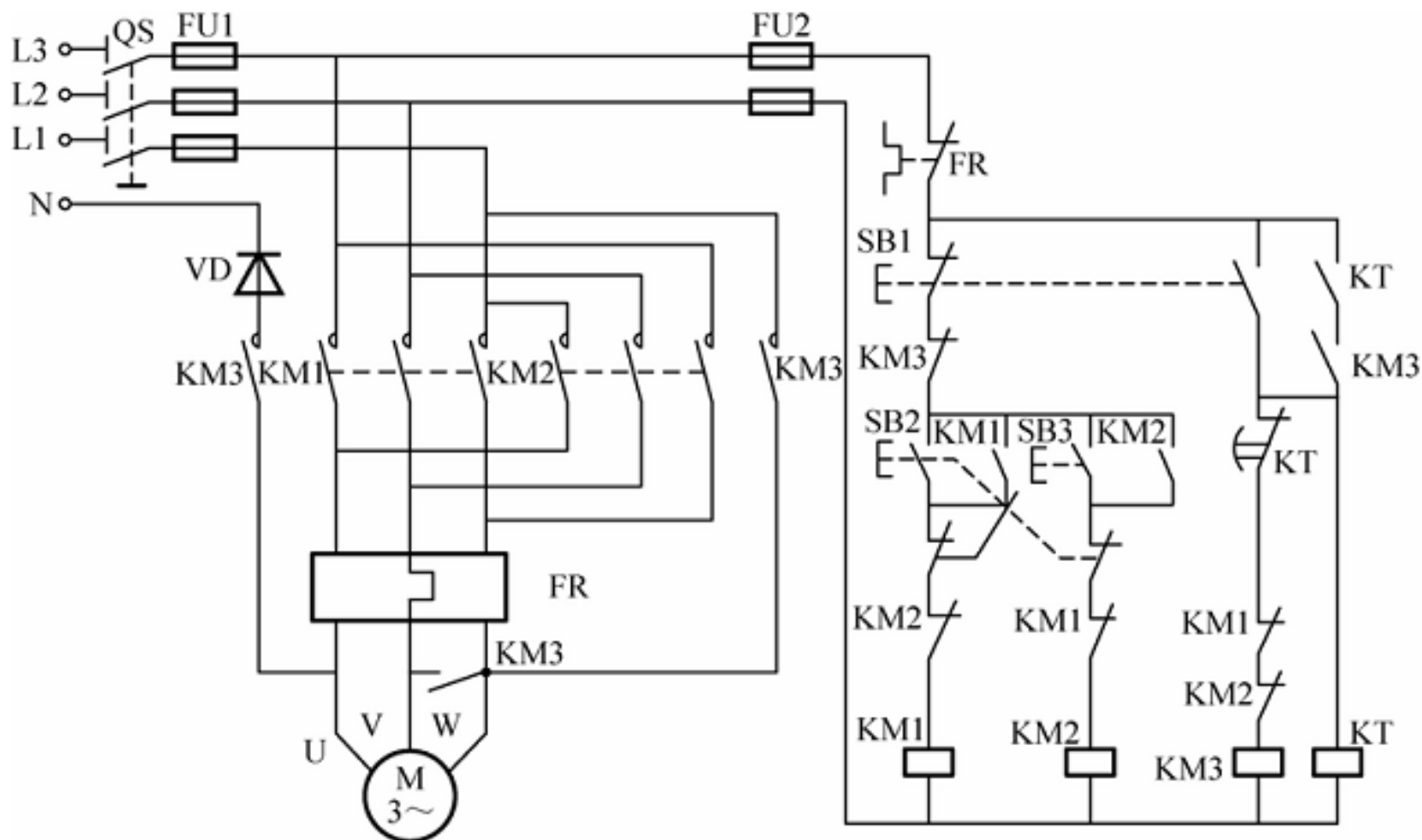
# 半波整流能耗制动控制线路

## □ 单向能耗制动



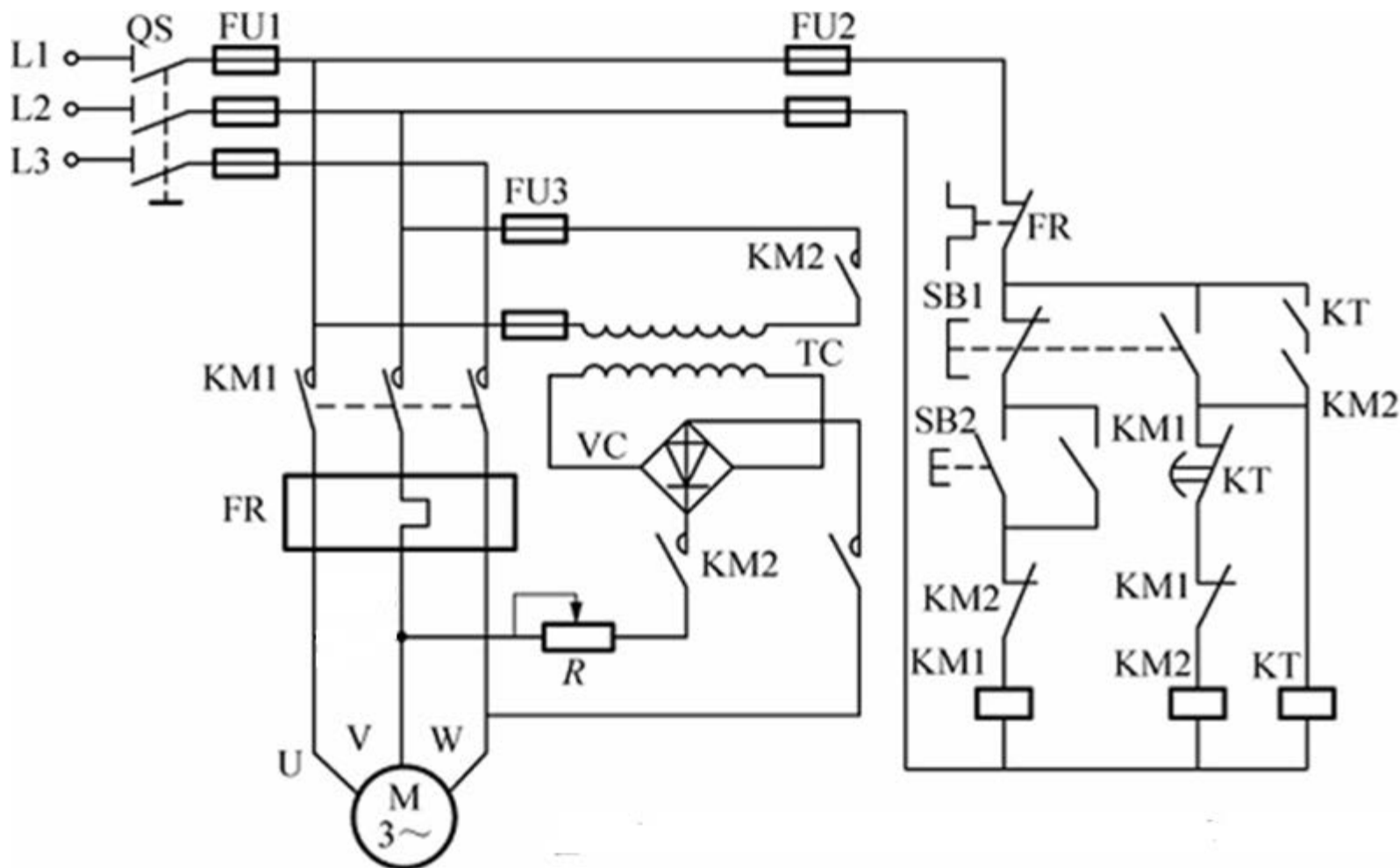
# 半波整流能耗制动控制线路

## □ 可逆能耗制动



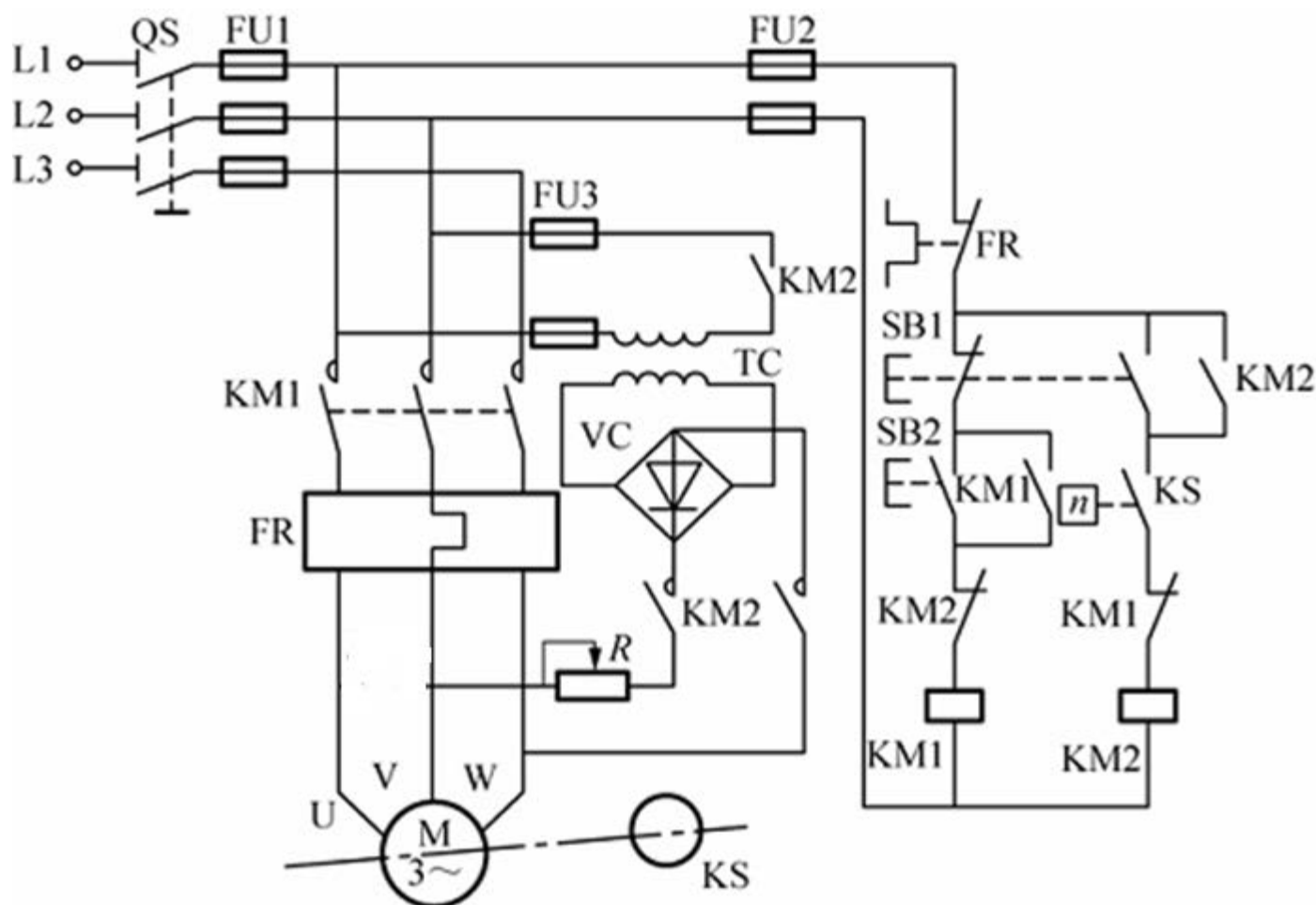
# 全波整流能耗制动控制线路

## □ 按时间原则控制----单向能耗制动



# 全波整流能耗制动控制线路

□ 按速度原则控制----单向能耗制动



# 能耗制动和反接制动的比较

- 能耗制动比反接制动消耗的能量少，其制动电流也比反接制动电流小得多，但能耗制动的制动效果不及反接制动明显，同时还需要一个直流电源，控制线路相对比较复杂。
- 能耗制动一般适用于电动机容量较大和启动、制动频繁的场所。反接制动一般适合于电动机容量较小和不频繁制动的场合。



# 电气控制线路设计的基本原则

- 满足机电设备需求原则----任务书符合技术要求与可实现性
- 简单实用、经济原则----标准、简、少、省
- 可靠性原则
- 安全性原则
- 使用方便原则----便操作、便维修、便转换有备用、有隔离

# 满足机电设备需求原则

- 设计前，调查清楚生产要求，充分了解机械设备的工作性能，结构特点和实际加工情况。
- 深入现场调查研究，收集资料，尤其是对同类或相近设备资料和使用情况的调查。
- 和机械设计人员一起经过广泛讨论，制订出该设备电气控制系统设计任务书。
- 任务书是电气控制和机械设备之间的接口**技术规范**，电气技术人员必须依据该任务书设计电气控制线路。

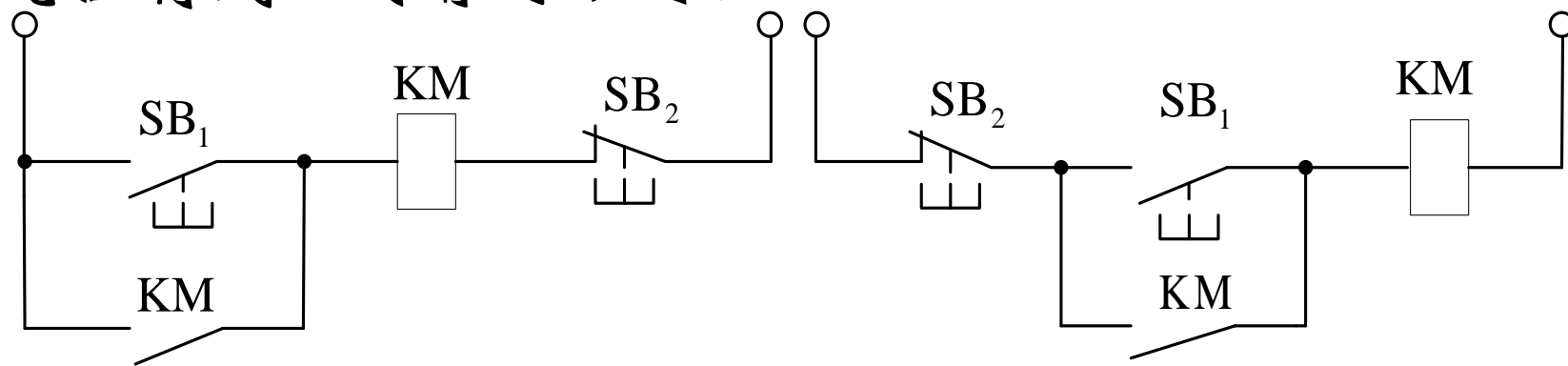
# 简单实用、经济原则

- 尽量选用标准的、常用的或经过实际应用效果良好的电气控制线路。
- 合理安排电气原理图中元件的位置，以缩短连接导线的数量和长度。特别是：
  - ▣ 控制柜、操作台和生产现场相互之间的连接线越少越好；
  - ▣ 同一电器的不同触点在线路中应尽可能具有更多公共接线；
  - ▣ 在控制电路中，应尽量将所有电气的联锁触点接在线圈的左端，线圈的右端直接接电源，可以减少线路内产生虚假回路的可能性，同时简化电气柜的出线。
- 尽量减少电器的数量，采用标准器件，尽可能选用相同型号的电器元件，以减少备用量。
- 尽量减少不必要的触点，简化电路。
- 减少不必要的通电时间，节约电能，延长电器使用寿命



# 一些例子

- 例1: 电气控制线路图如下所示, 其中 $SB_1$ 和 $SB_2$ 安装在操作台上,  $KM$ 位于电气柜内, 试比较图a)、b)所示电气控制线路图有何不同?



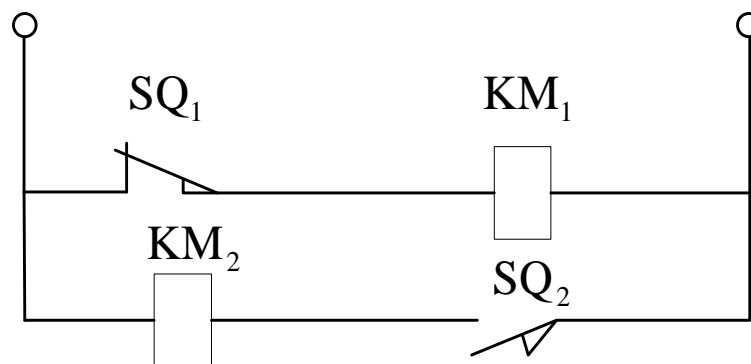
a) 控制线路一

b) 控制线路二

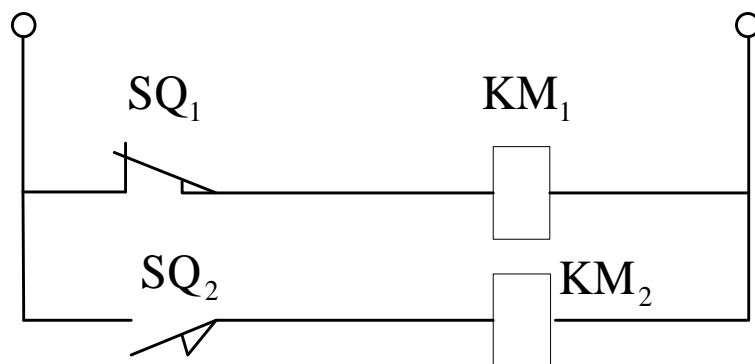
- (1) 二者控制原理相同。其连接线都是6根, 总数是相同的。
  - (2) 图a)有4根线从电气柜接到操用台, 图b)只需要3根。
  - (3) 相互间连接线少, 在线路检查和排障时方便。
- 所以, 图b)和图a)相比, 其电气线路更为合理。

# 一些例子

□ 例2 电气控制线路图如下所示，试比较图a)、b)所示电气控制线路图有何不同？



a) 不合理接法



b) 合理接法

(1) 经分析，二者控制原理相同。

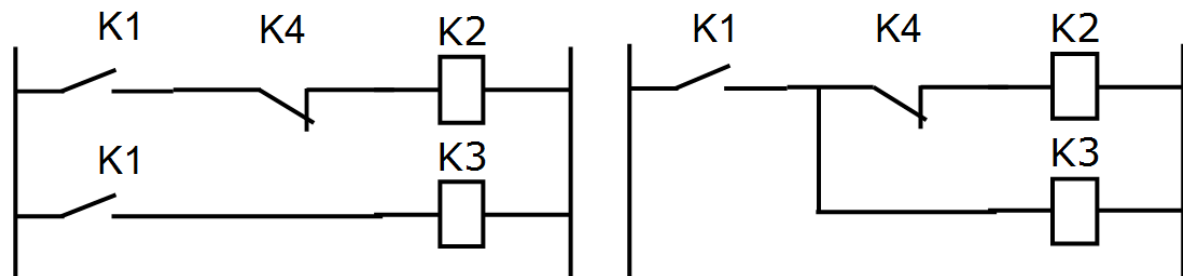
(2) 图a)中限位开关SQ的常开触点与常闭触点靠得很近，而在电路中分别接在不同的相上，**当触点断开产生电弧时，可能在两触点间形成飞弧而造成电源短路。**图b)中两触点电位相同，就不会造成电源短路。而且，行程开关安装在生产机械上，接触器安装在控制柜内。

(3) 图a)中用4根长导线连接，而图b)只需要3根长导线；因此，图b)可减少导线段数和缩短导线长度。

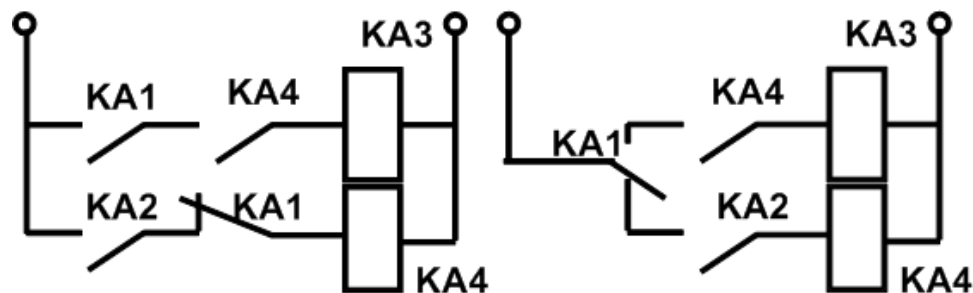
所以，图b)和图a)相比，其电气线路更为合理。

# 一些例子

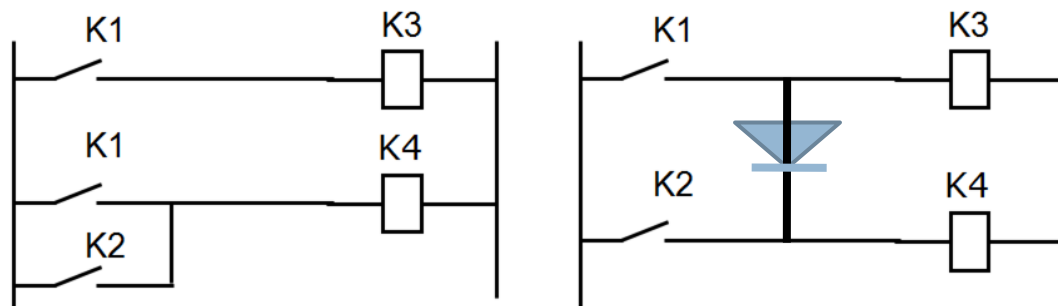
- 例：合并同类触点简化电路



- 例：利用转换触点简化电路

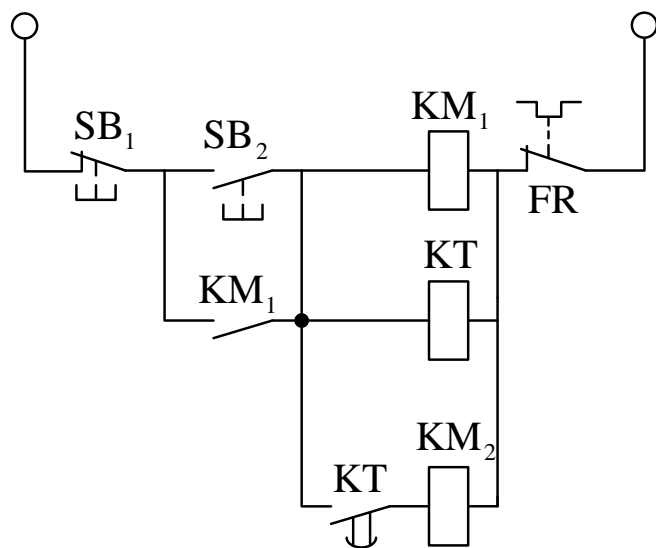


- 例：利用二极管的单向导电性来有效地减少触点数。

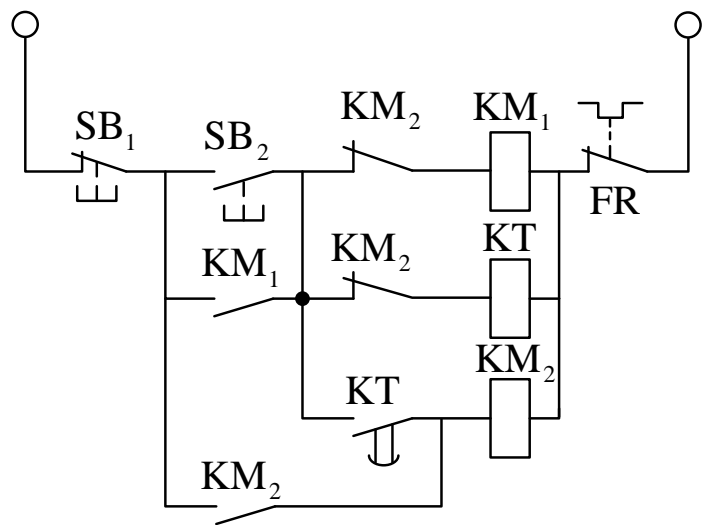


# 一些例子

□ 例：分析比较图中所示两个电气控制线路图有何不同。



a) 不必要通电



b) 减少通电

图a)中，接触器 $KM_2$ 得电后，接触器 $KM_1$ 和时间继电器 $KT$ 就失去了作用，不必继续通电，但它们仍处于带电状态。

图b)则比较合理，在 $KM_2$ 得电后，切断了 $KM_1$ 和 $KT$ 的电源，节约了电能，并延长了该电气的寿命。

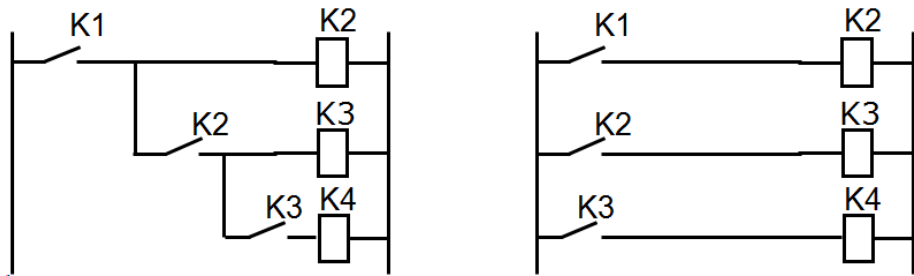
因此，图b)和图a)相比，其电气线路更为合理。

# 可靠性原则

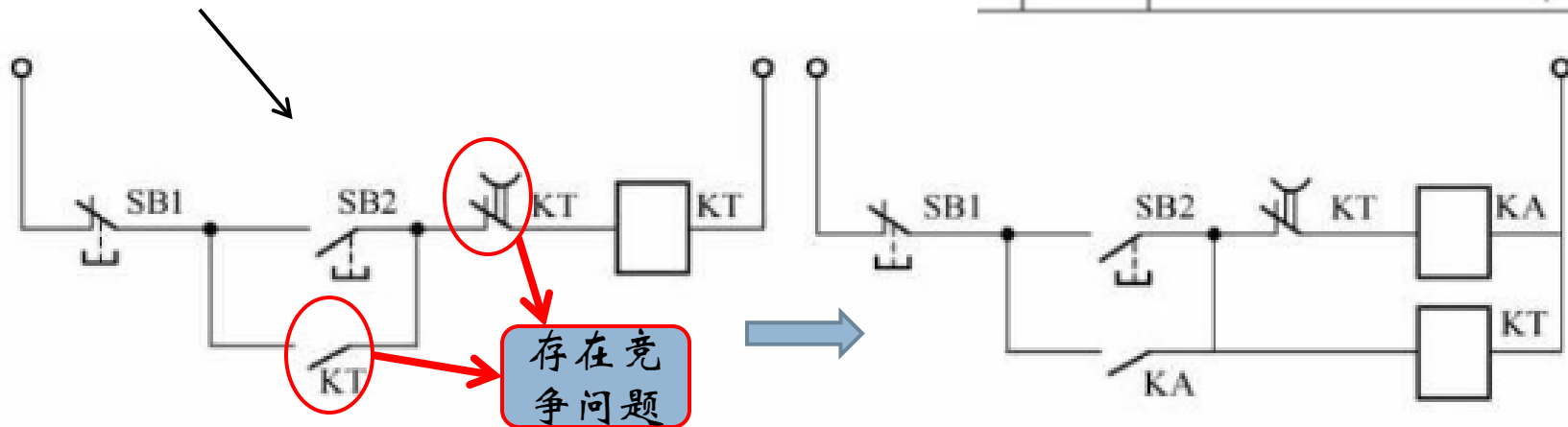
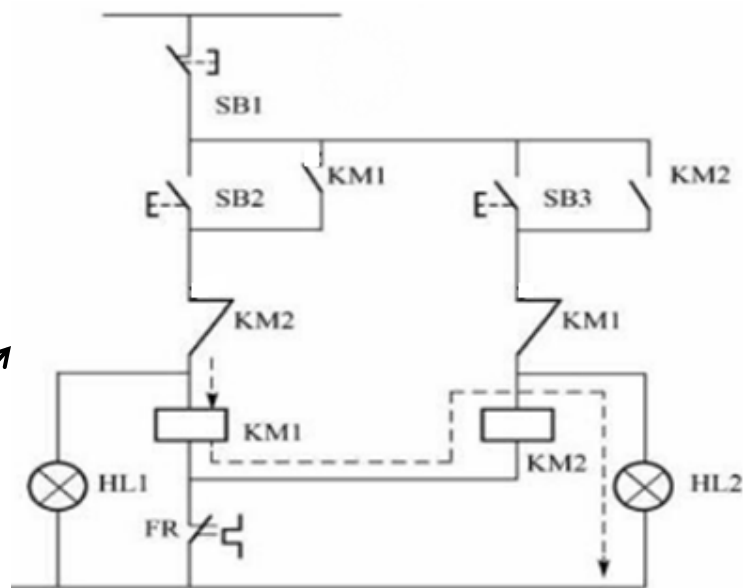
- 选用电器元件要可靠、牢固、动作时间少、抗干扰性能好。
- 正确连接电器的线圈：线圈不能串接，应并联。
- 在控制线路中，采用小容量继电器的触点来断开或接通大容量接触器的线圈时，容量是否足够，不够时必须加小容量的接触器或中间继电器，否则工作不可靠。
- 在频繁操作的可逆线路中，正反向接触器之间不但要有电气联锁，而且还要有机械联锁。
- 在线路中应尽量避免许多电器依次动作才能接通另一个电器元件的现象，以增加线路的可靠性。
- 避免发生触头“竞争”与“冒险”现象。
- 防止寄生电路(假电路)---在控制线路的动作过程中，意外接通的电路。

# 一些例子

## 减少多个元件依次通电



## 消除竞争 避免出现寄生电路



(a) 不能正常工作

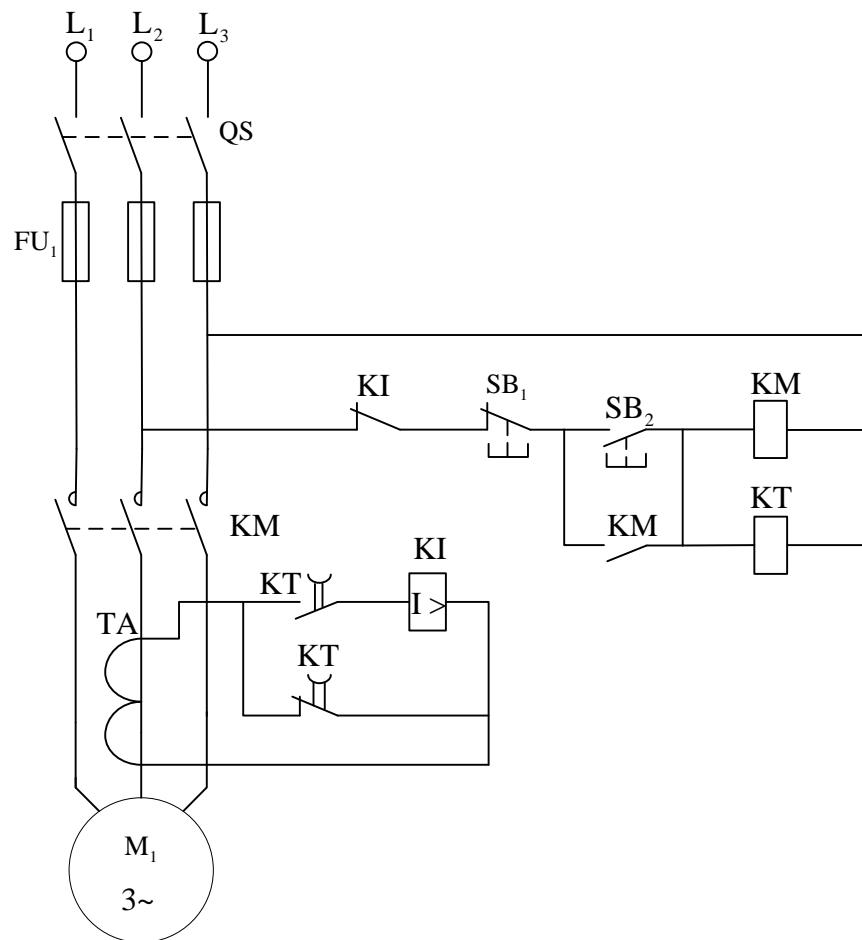
(b) 可以正常工作

# 安全性原则-1

- 在自动控制系统中，常用的保护环节有短路、过流、过载、过压、失压、弱磁、超速、极限等，还有根据实际工况设置的温度、水位、压力保护。
- 短路保护：电动机、电器以及导线的绝缘损坏或电路发生故障时，可能造成短路事故。短路电流可能使设备损坏。因此，一旦发生短路故障时，控制电路应能迅速切断电源。常用的短路保护元件有熔断器和断路器。
- 极限保护：某些直线运动的生产机械常设极限保护，是由行程开关的常闭触头来实现的。如龙门刨床的刨台，设有前、后极限保护；矿井提升机，设上、下极限保护。

## 安全性原则-2

- 过流保护：在电动机运行过程中，由于各种各样的原因，会引起电动机产生很大的电流，从而造成电动机或生产机械设备的损坏。因此，为保护电动机的安全运行，在这种情况下，有必要设置过电流保护。
- 起动时保护不起作用
- 运行之后，保护开始作用





# 安全性原则-3

- 过载保护：电动机长期超载运行，其绕组的温升将超过允许值而损坏，所以应设过载保护环节。这种保护多采用热继电器作为保护元件，同时装有熔断器或过流继电器配合使用。
- 失压保护：在电动机正常工作时，如果电源电压消失，电动机则停转。当电源电压恢复时，如果电动机自行起动，则可能造成设备损坏甚至人身伤亡事故。防止电压恢复时电动机自行起动的保护称为失压保护。按钮、线圈及其控制开关提供了失压保护。
- 弱磁保护：防止电机失磁，造成失步运行；防止深度弱磁运行，造成铁芯和定子线圈端部过热。

# 使用方便原则

- 电气设备应力求维修方便，使用安全。
- 电器元件应留有备用触头，必要时应留有备用电器元件，以便检修、调整改接线路。
- 应设置隔离电器，以免带电检修。
- 控制机构应操作简单、方便，能方便地由一种控制形式转换为另一种控制形式，例如由手动控制转换到自动控制。

# 电气控制线路的设计方法

## □ 经验设计方法---针对简单线路

- 根据现场工艺要求和工作过程在(设计人员掌握)典型环节和经验电路基础上完善、补充, 边分析边整合补充, 反复修改、试验得到控制线路图。得到的方案往往虽易看懂, 但不一定是最佳方案。

## □ 逻辑设计方法---针对复杂线路, 不会遗漏

- 逻辑设计法将执行元件需要的工作信号以及主令电器的接通与断开看成逻辑变量, 并根据控制要求将它们之间的关系用逻辑函数关系式来表达, 然后再运用逻辑函数的基本公式和运算规律简化成最简单表达式, 并依此画出电气控制线路图, 最后进一步检查和完善, 以获得既满足工艺要求, 又经济合理的最佳设计方案。

# 经验设计方法-基本步骤

## □ 基本步骤

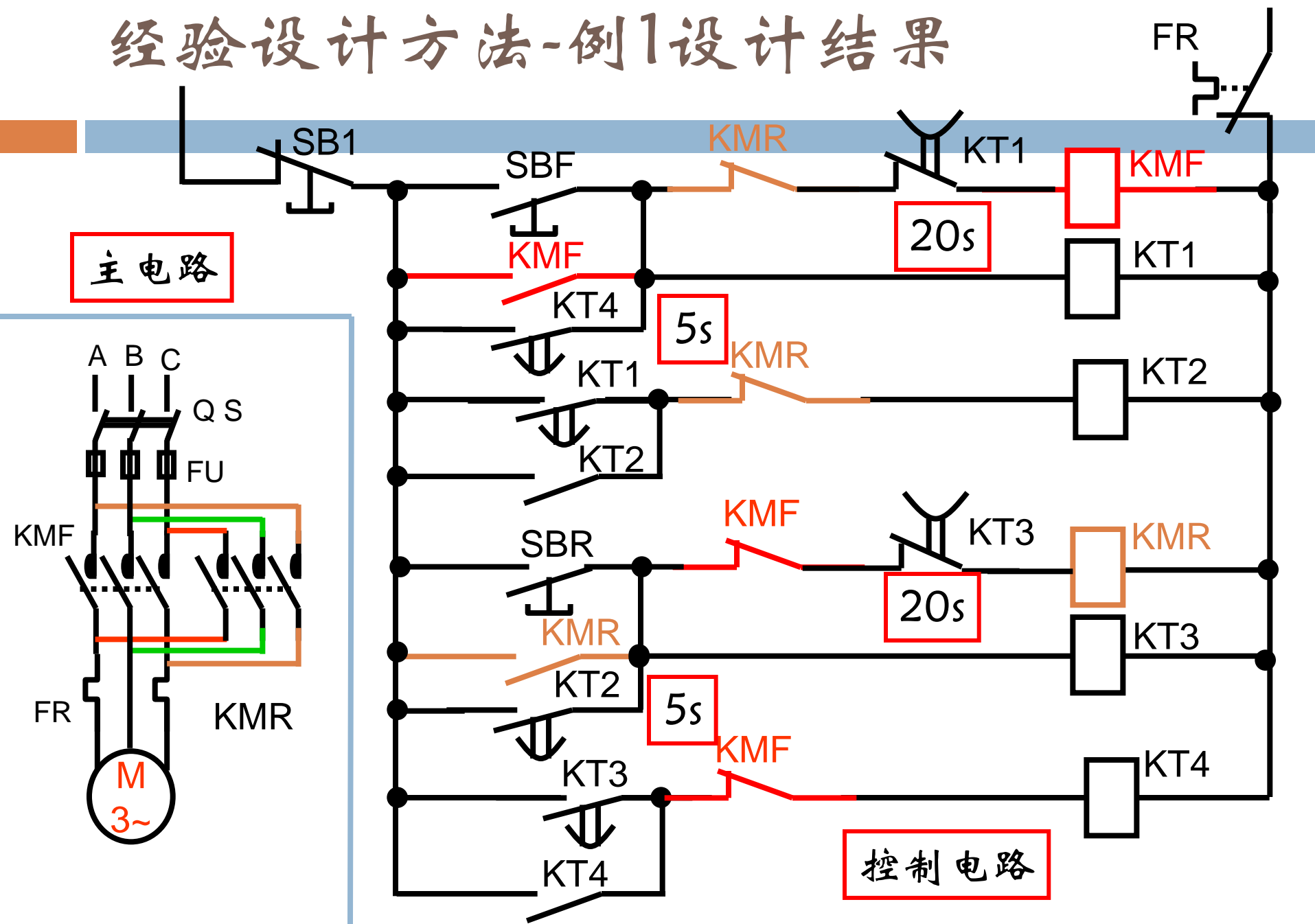
- ▣ 1) 主电路设计。主要考虑电动机的起动、点动、正反转、制动及多速电动机的调速。
- ▣ 2) 控制电路设计。主要考虑如何满足电动机的各种运转功能及生产工艺要求，包括实现加工过程手动、半自动和全自动的控制等。
- ▣ 3) 联锁保护环节设计。主要考虑如何完善整个控制电路的设计，包括短路、过载、零压、联锁、照明、信号、充电测试等各种保护环节。
- ▣ 4) 反复审核电路是否满足设计要求。在条件允许的情况下，进行模拟试验，直至电路动作准确无误，并逐步完善整个电气控制电路的设计。

# 经验设计方法-例1

- 例1：某搅拌机由一台三相异步电机驱动，控制要求：启动后正转（或反转）20秒，停5秒；然后反转（或正转）20秒，停5秒。如此反复进行，直到手动停止。
- 分析
  - 主电路？
  - 正反转控制电路？
  - 延时电路？
  - 联锁保护？
  - 手操？

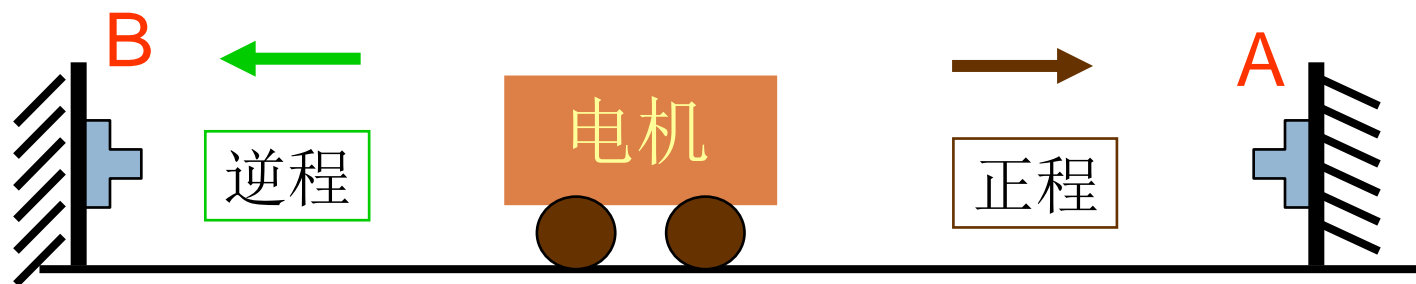


# 经验设计方法-例1设计结果



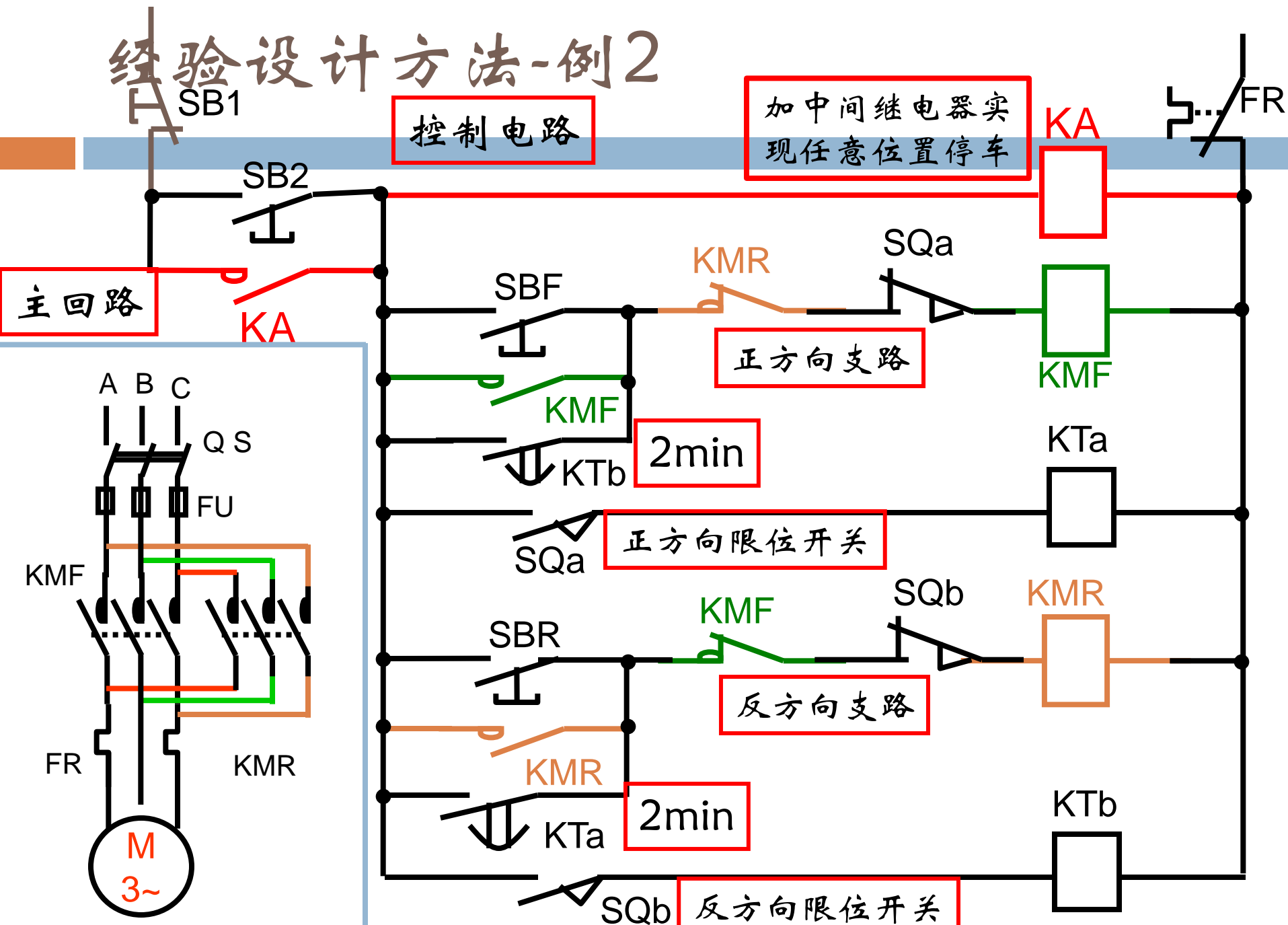
## 经验设计方法-例2

- 例2：设计一个运料小车控制电路，同时满足以下要求：
- (1) 小车启动后，前进到A地。然后做以下往复运动：到A地后停2分钟等待装料，然后自动走向B；到B地后停2分钟等待卸料，然后自动走向A。



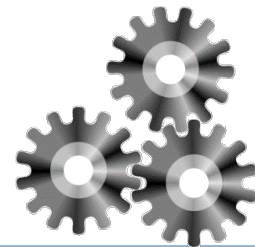
- (2) 有过载和短路保护。
- (3) 小车可停在任意位置。

# 经验设计方法-例2





# 经验设计方法-例2运行过程



## □ 正方向按钮

SBF↓  $\Rightarrow$  KMF√  $\Rightarrow$  小车正向运行  $\Rightarrow$  至A端, 撞SQa  $\Rightarrow$  KTa√,  
 $\Rightarrow$  KMR√  $\Rightarrow$  小车反向运行  $\Rightarrow$  至B端, 撞SQb  $\Rightarrow$  KTb√,

延时2分钟  $\Rightarrow$  KMF√  $\Rightarrow$  小车正向运行……

---

## □ 反方向按钮

SBR↓  $\Rightarrow$  KMR√  $\Rightarrow$  小车反向运行  $\Rightarrow$  至B端, 撞SQb  $\Rightarrow$  KTb√,  
 $\Rightarrow$  KMF√  $\Rightarrow$  小车正向运行  $\Rightarrow$  至A端, 撞SQa  $\Rightarrow$  KTa√,

延时2分钟  $\Rightarrow$  KMR√  $\Rightarrow$  小车反向运行……

# 逻辑设计方法-1

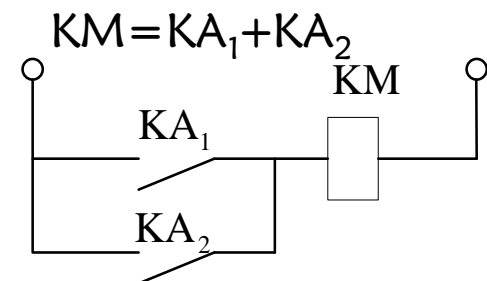
## □ 低压电器的逻辑表示

- 用KA、KM、SQ和SB分别表示继电器、接触器、行程开关和按钮的动合(常开)触头；用/KA、/KM、/SQ 和/SA分别表示继电器、接触器、行程开关和按钮的动断(常闭)触头；
- 电器元件的受激状态为“1”状态；原始状态(未受激状态)为“0”状态。
- 对于继电器、接触器、电磁铁、电磁阀、电磁离合器等元件的线圈，得电状态为“1”，失电状态为“0”。
- 对于按键、行程开关等元件，压下状态为“1”，复位状态为“0”
- 对于其它低压电器元件，设计者也可仿照此方法做出规定。
- 元件线圈状态取值与其动合触头的取值相同，和动断触头取值相反。

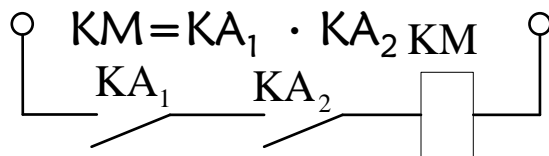
# 逻辑设计方法-2

## □ 基本逻辑关系

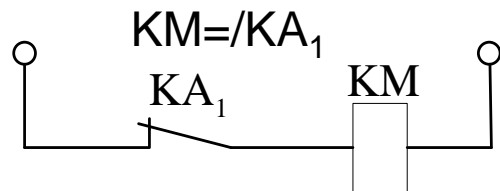
□ 与



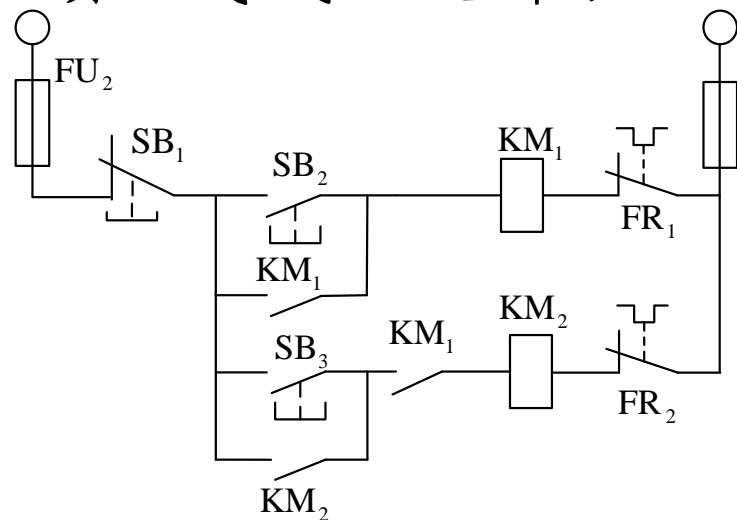
□ 或



□ 非



## □ 例：写出三相异步电动机联锁控制线路逻辑表达式



$$KM_1 = /SB_1 \cdot (SB_2 + KM_1) \cdot /FR_1$$

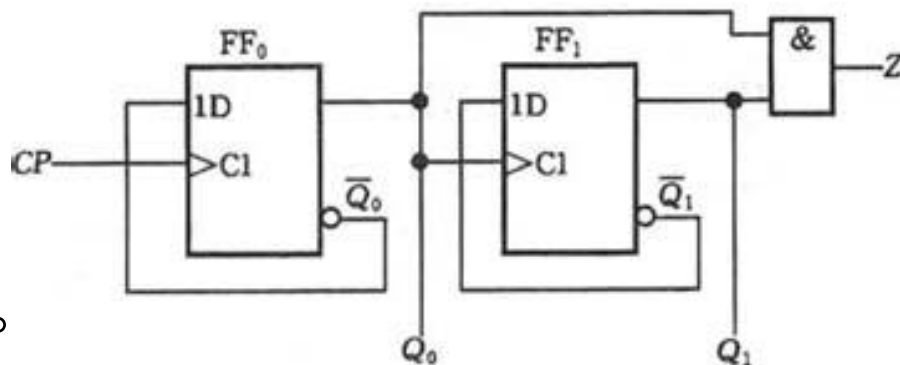
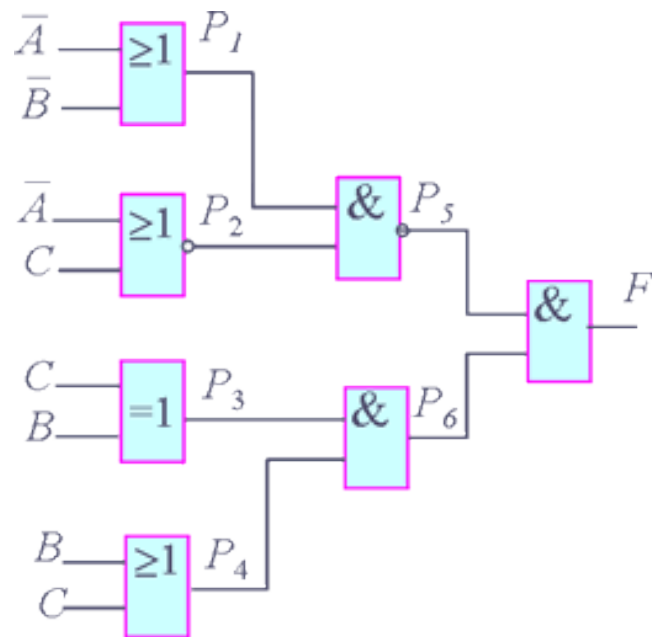
$$KM_2 = /SB_1 \cdot (SB_3 + KM_2) \cdot KM_1 \cdot /FR_2$$

## □ 逻辑代数的基本定律----简化逻辑表达式

# 逻辑设计方法-3

## □ 逻辑电路有两种基本类型

- 组合逻辑电路----只与同一时刻控制元件的状态相关，**输入和输出呈单向关系**，即输出量对输入量无影响。
- 时序逻辑电路----**输出状态**不仅与同一时刻的输入状态有关，而且还与输出量的原有状态及组合顺序有关，其设计过程较复杂。



# 逻辑设计方法-4

## □ 组合逻辑设计基本步骤

- (1) 根据工艺要求，确定逻辑变量；
- (2) 列出控制元件和执行元件的动作状态表，以满足控制要求；
- (3) 写出执行元件的表达式；
- (4) 简化逻辑表达式；
- (5) 根据简化的逻辑函数关系式，绘制控制电路。
- (6) 进一步完善电路，增加必要的连锁、保护等辅助环节，检查电路是否符合原控制一求，有无寄生回路，是否存在触点竞争现象等。

# 逻辑设计方法-例

- 例：实现某一电动机只有在继电器K1、K2、K3中任何一个或任何两个动作时才能运转，而在其它情况下不运转的控制线路。

- (1) 设定逻辑函数与逻辑变量

- 电动机——M；

- 继电器——K<sub>1</sub>、K<sub>2</sub>、K<sub>3</sub>；

- 电动机运转为“1”，不转为“0”；

- 继电器动作为“1”，不动为“0”。

- (2) 画出状态表

| K <sub>1</sub> | K <sub>2</sub> | K <sub>3</sub> | M |
|----------------|----------------|----------------|---|
| 0              | 0              | 0              | 0 |
| 0              | 0              | 1              | 1 |
| 0              | 1              | 0              | 1 |
| 0              | 1              | 1              | 1 |
| 1              | 0              | 0              | 1 |
| 1              | 0              | 1              | 1 |
| 1              | 1              | 0              | 1 |
| 1              | 1              | 1              | 0 |

# 逻辑设计方法-例

□ (3) 写出逻辑式并简化

$$M = \bar{K}_1 \bar{K}_2 K_3 + \bar{K}_1 K_2 \bar{K}_3 + \bar{K}_1 K_2 K_3 \\ + K_1 \bar{K}_2 \bar{K}_3 + K_1 \bar{K}_2 K_3 + K_1 K_2 \bar{K}_3$$

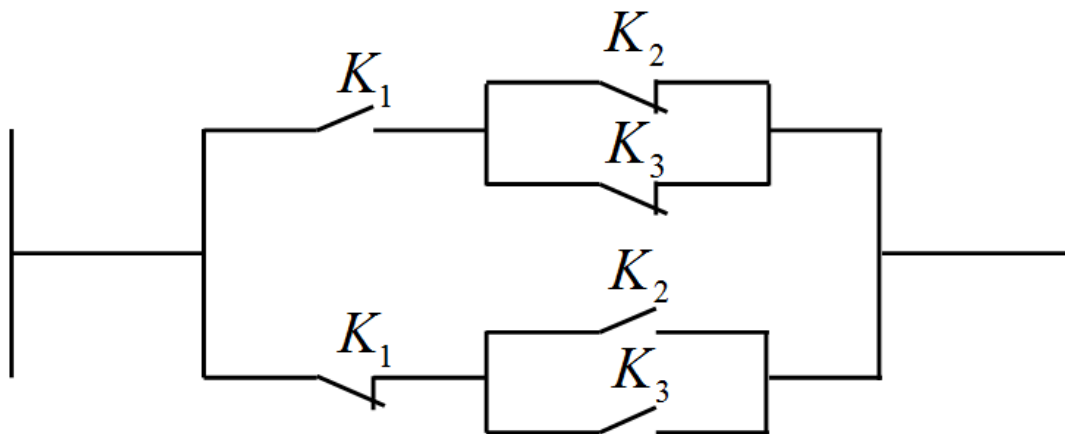
$$M = \bar{K}_1 (\bar{K}_2 K_3 + K_2 \bar{K}_3 + K_2 K_3) \\ + K_1 (\bar{K}_2 \bar{K}_3 + \bar{K}_2 K_3 + K_2 \bar{K}_3) \\ = \bar{K}_1 (K_3 + K_2 \bar{K}_3) + K_1 (\bar{K}_3 + \bar{K}_2 K_3) \\ = \bar{K}_1 (K_3 + K_2) + K_1 (\bar{K}_3 + \bar{K}_2)$$

| $K_1$ | $K_2$ | $K_3$ | M |
|-------|-------|-------|---|
| 0     | 0     | 0     | 0 |
| 0     | 0     | 1     | 1 |
| 0     | 1     | 0     | 1 |
| 0     | 1     | 1     | 1 |
| 1     | 0     | 0     | 1 |
| 1     | 0     | 1     | 1 |
| 1     | 1     | 0     | 1 |
| 1     | 1     | 1     | 0 |

# 逻辑设计方法-例

## □ (4) 画出控制线路

$$M = \bar{K}_1(K_3 + K_2) + K_1(\bar{K}_3 + \bar{K}_2)$$





# 电气控制系统图的绘制

## □ 什么是电气控制系统图？

- 根据生产机械运动形式对电气控制系统的要求，采用国家统一规定的**电气图形符号和文字符号**，按照电气设备和工作顺序，详细表示电路、设备或成套装置的全部组成和连接关系。

## □ 常用图元见附录PDF文件，并参考一些国家标准

## □ 电气控制系统图种类

- 电气控制系统**原理图**
- 电气控制系统**接线图**
- 电气控制系统**布置图**

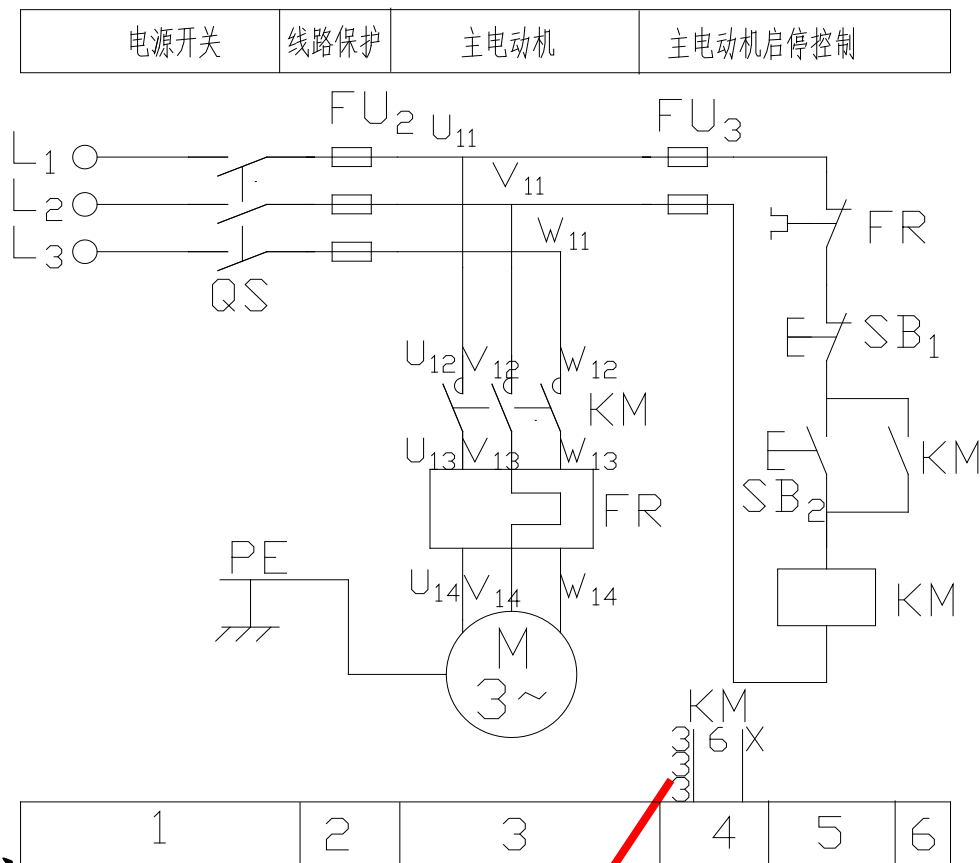


# 电气控制系统原理图-概念

## 电机起停电路原理图

## □ 电气控制系统原理图

- 主电路-通过大电流，包括从电源到电机之间相连的电器元件，如组合开关、主熔断器、接触器主触点、热继电器的热元件和电动机等。
- 辅助电路-通过小电流，包括控制、照明、信号和保护电路。其中控制电路是由按钮、接触器和继电器的线圈及辅助触点、热继电器触点、保护电器触点等。



接触器/继电器触头索引表:

主(继电器无)、辅助常开、辅助常闭

# 电气控制系统原理图-原则

## □ 绘制电气原理图时应遵循的原则

- 所有电器元件都应采用国家标准中统一规定的图形符号和文字符号表示。
- 电器元件的布局，均按功能布置，尽可能按动作顺序从上到下，从左到右排列，便于阅读。主电路安排在图面左侧或上方，辅助电路安排在图面右侧或下方。
- 电气原理图中，当同一电器元件的不同部件分散在不同位置时，要在电器元件的不同部件处标注统一的文字符号。对于同类器件，要在其文字符号后加数字序号来区别。
- 所有电器的可动部分均按原始状态画出
  - 对于继电器、接触器的触点，按其线圈不通电时的状态画出
  - 控制器按手柄处于零位时的状态画出
  - 对于按钮、行程开关等触点按未受外力作用时的状态画出。

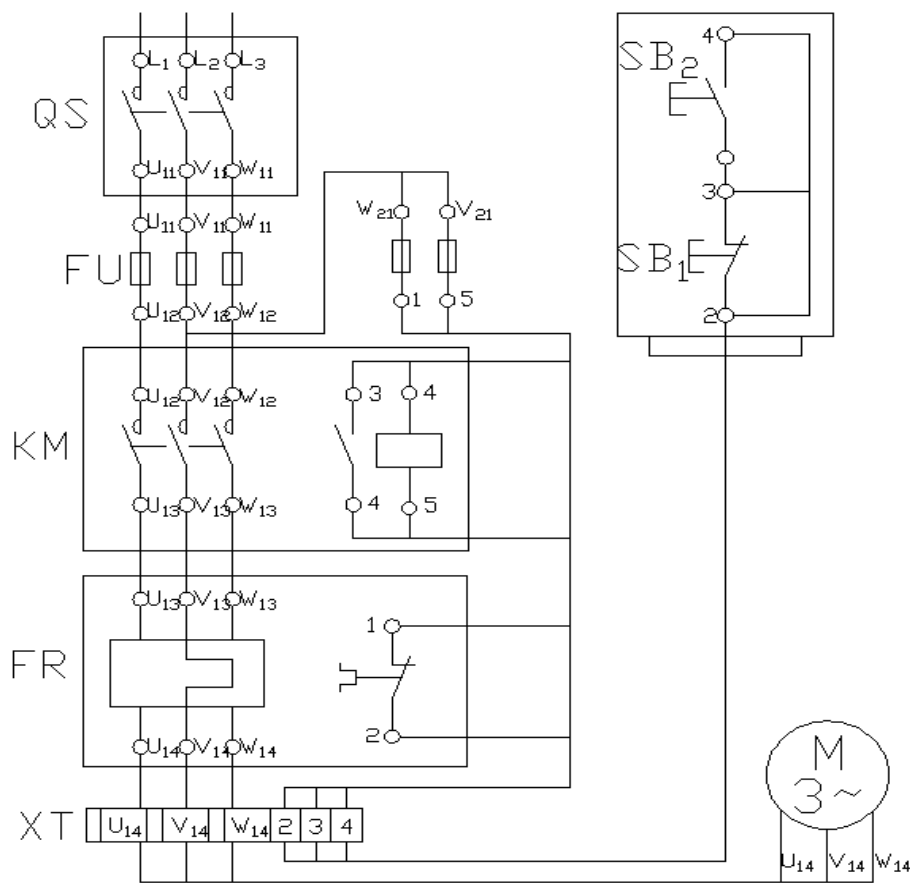
# 电气控制系统原理图-原则续

- 主电路标号由文字符号和数字组成。文字符号标明主电路中元件或线路的主要特征，数字标号区别电路不同线段。
- 辅助电路中连接在一点上的所有导线具有同一电位而标注相同的线号；线圈、指示灯等以上线号标奇数，线圈、指示灯等以下线号标偶数。
- 应尽量减少线条和避免线条交叉。有电联系的导线交点处画实心圆点。根据图面布置需要，可以将图形符号旋转 $90^\circ$ 绘制，文字符号不可倒置。
- 对非电气控制和人工操作的电器，必须在原理图上用相应的图形符号表示其操作方法及工作状态。对同一机构操作的所有触头，应用机械连杆表示其联动关系。各个触头运动方向和状态，必须与操作件动作方向和位置协调一致。
- 对与电气控制有关的机、液、气等装置，应用符号绘制出简图，以表示其关系。

# 电气控制系统接线图-概念

电机起停电路接线图

- 电气安装接线图用于电气设备和电器元件的安装、配线、维护和检修电器故障。
- 图中标示出各元器件之间的关系、接线情况以及安装和敷设的位置等。
- 对某些较为复杂的电气控制系统或设备，当电气控制柜中或电气安装板上的元器件较多时，还应该画出各端子排的接线图。
- 一般情况下，电气安装接线图和原理图需配合起来使用。



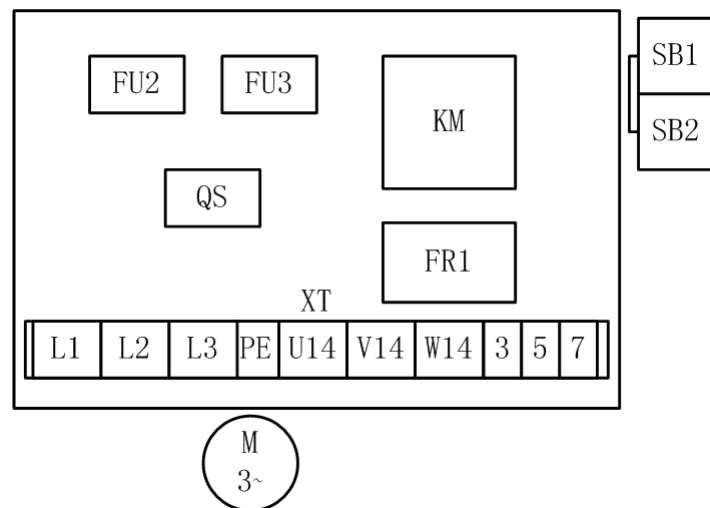
# 电气控制系统接线图-原则

## □ 绘制电气安装接线图应遵循的主要原则

- 必须遵循相关国家标准绘制电气安装接线图。
- 各电器元器件的位置、文字符号必须和电气原理图中的标注一致，同一个电器元件的各部件必须画在一起，各电器元件的位置应与实际安装位置一致。
- 不在同一安装板或电气柜上的电器元件或信号的电气连接一般应通过端子排连接，并按照电气原理图中的接线编号连接。
- 走向相同、功能相同的多根导线可用单线或线束表示。画连接线时，应标明导线的规格、型号、颜色、根数和穿线管的尺寸。
- 要清楚表示出接线关系和接线走向。表示接线关系的画法有两种：
  - 直接接线法：直接画出两个元件之间的连线。适用于简单的电气系统，电器元件少，接线关系不复杂的情况。
  - 间接标注接线法：接线关系采用符号标注，不直接画出两元件之间的连线。适用于接线关系复杂的电气系统。
- 端子排的排列要清楚，便于查找。可按线号数字大小顺序排列，或按动力线、交流控制线、直流控制线分类后，再按线号顺序排列。

# 电气控制系统布置图

电机起停布局图



- 电器元件布置图主要用来表明电气设备或系统中所有电器元器件的实际位置，为制造、安装、维护提供必要的资料。
- 应遵循原则：
  - 遵循相关国家标准设计和绘制电器元件布置图。
  - 相同类型的电器元件布置时，应把体积较大和较重的安装在控制柜或面板的下方。
  - 发热的元器件应该安装在控制柜或面板的上方或后方，但热继电器一般安装在接触器的下面，以方便与电机和接触器的连接。
  - 需要经常维护、整定和检修的电器元件、操作开关、监视仪器仪表，其安装位置应高低适宜，以便工作人员操作。
  - 强电、弱电应该分开走线，注意屏蔽层的连接，防止干扰的窜入。
  - 电器元器件的布置应考虑安装间隙，并尽可能做到整齐、美观。

# 复杂电气控制系统分析与设计

- 电气控制分析的内容与要求
  - ▣ 设备说明书
  - ▣ 电气控制原理图
  - ▣ 电气设备的总装接线图
  - ▣ 电器元件布置图与接线图
- 电气原理图的阅读分析方法
  - ▣ 基本原则
  - ▣ 常用方法
  - ▣ 基本步骤
- 车床基本知识与C650型卧式车床



# 电气控制分析的内容与要求-1

## □ 设备说明书

- ▣ 设备的构造，主要技术指标，机械、液压、气动部分的传动方式与工作原理。
- ▣ 电气传动方式，电机及执行电器的数目，规格型号、安装位置、用途与控制要求。
- ▣ 了解设备的使用方法，各操作手柄、开关、旋钮、指示装置的布置以及在控制线路中的作用。
- ▣ 必须清楚地了解与机械、液压部分直接关联的电器（行程开关、电磁阀、电磁离合器、传感器等）的位置、工作状态及与机械、液压部分的关系，在控制中的作用

# 电气控制分析的内容与要求-2

- 电气控制原理图是控制线路分析的中心内容
  - ▣ 分析电路图时必须与阅读其它技术资料结合起来。通过选用电器元件的技术参数，分析出控制线路的主要参数和技术指标，估算出各部分的电流、电压值，以便在调试或检修中合理地使用仪表。
- 电气设备的总装接线图
  - ▣ 分析总装接线图可了解系统的组成分布状况，各部分连接方式，主要电气部件的布置、安装要求，导线和穿线管的规格型号等。
- 电器元件布置图与接线图
  - ▣ 元件布置图与接线图是制造、安装、调试和维护电气设备必需的技术资料。

# 电气原理图的阅读分析方法-1

- 原理图阅读分析的基本原则：
  - ▣ 化整为零、顺藤摸瓜、先主后辅、
  - ▣ 集零为整、安全保护、全面检查。
  
- 常用方法是：
  - ▣ 查线分析法 —— 化整为零的原则 —— 以某一对象开始 —— 从电源开始，自上而下，自左而右，逐一分析其接通断开关系，并区分出主令信号、联锁条件、保护要求。

# 电气原理图的阅读分析方法-2

## □ 基本步骤

- (1) 分析主电路——类型、工作方式，起动、转向、调速、制动等控制要求与保护要求等。
- (2) 分析控制电路——从电源和主令信号开始，经过逻辑判断，写出控制流程。
- (3) 分析辅助电路——执行元件的工作状态显示、电源显示、参数测定、照明和故障报警等。
- (4) 分析联锁与保护环节。
- (5) 分析特殊控制环节——计数、检测、晶闸管、调温等
- (6) 总体检查——集零为整检查整个控制线路。

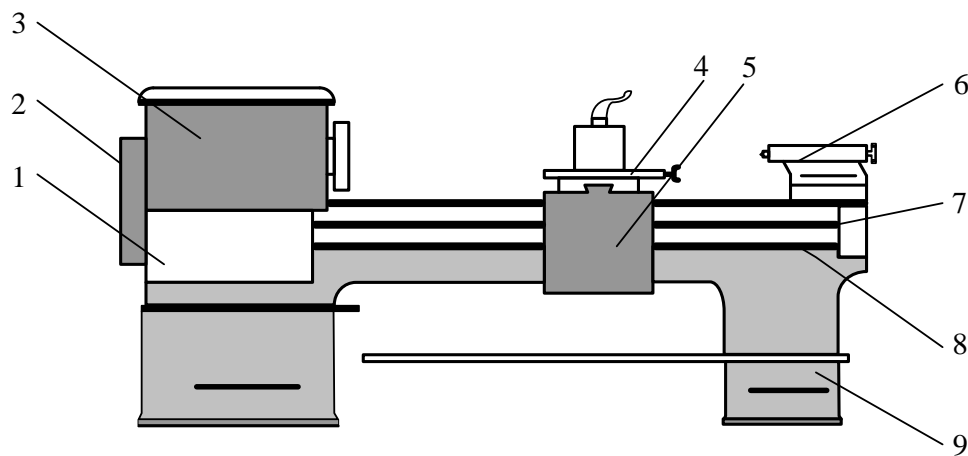
# 车床基本知识

- 车床是机械加工中最常用的一种机床，占机床总数的20%-35%。
- 在各种机床中用的最多的是普通车床，卧式车床是普通车床应用最广泛。
- 普通车床加工范围：加工各种轴类、套筒类和盘类零件上的回转表面，如切削内外圆柱面、圆锥面、端面及各种常用公、英制螺纹、还可以钻孔、扩孔、铰孔、滚花等。

# C650型卧式车床(中型)-1

## □ 结构

- ▣ 加工工作面：加工件回转半径最大可达1020mm，长度可达3000mm。
- ▣ 构成：主要由床身、主轴变速箱、进给箱、溜板箱、刀架、尾架、丝杆和光杆等部分组成。



- 1.进给箱；2.挂轮箱；3.主轴变速箱；4.溜板与刀架；  
5.溜板箱；6.尾架；7.光杆；8丝杆；9.床身

## □ 工作要求

- ▣ 切削加工包括主运动、进给运动和辅助运动三部分。进行切削加工时，刀具的温度高，需要冷却液冷却。为此，C650型卧式车床备有一台冷却泵电动机，拖动冷却泵，实现刀具冷却。

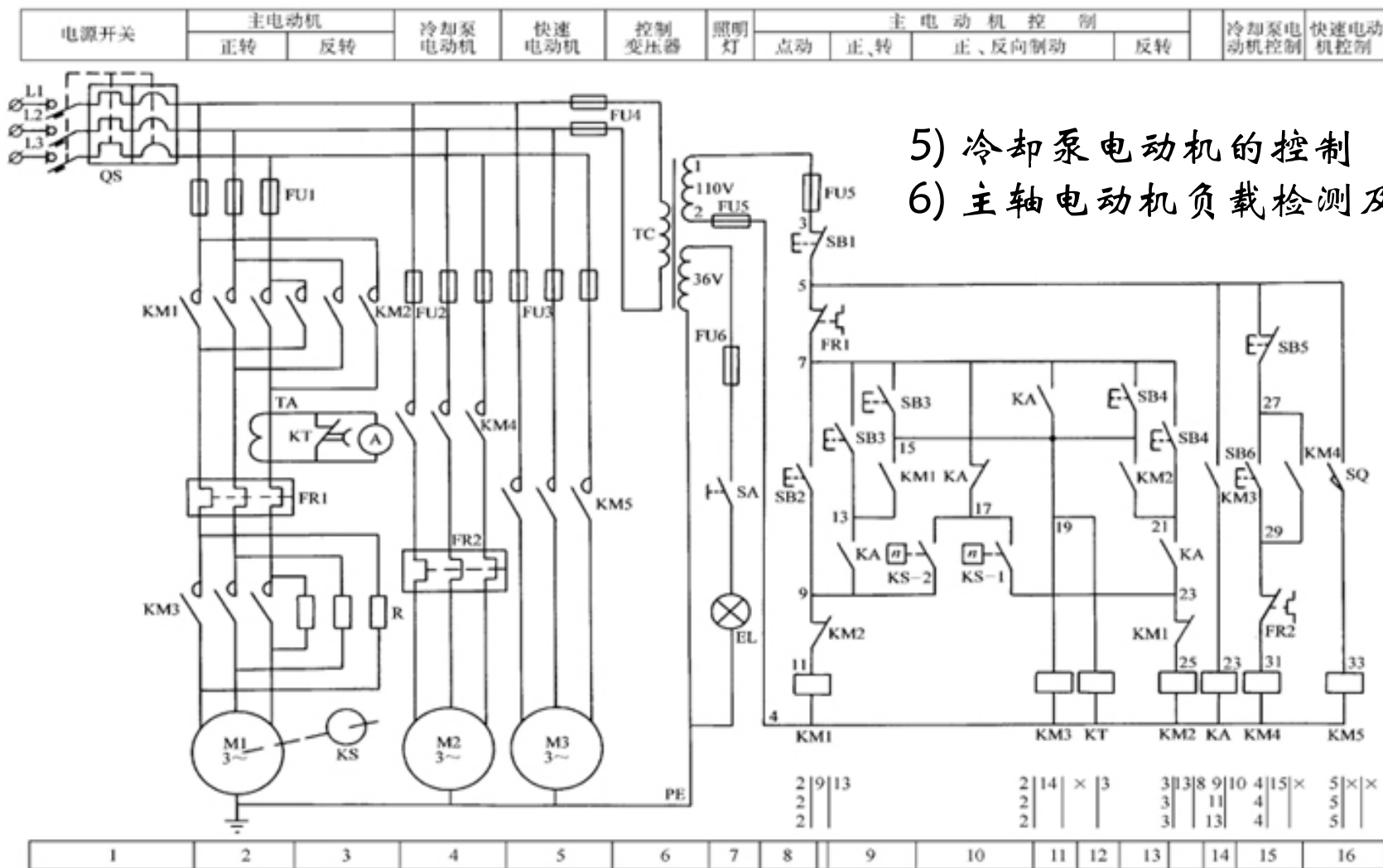
# C650型卧式车床(中型)-2

- 从车削加工工艺要求出发，对各电动机的控制要求是：
  - ▣ 1) M1(30kW)为主轴正、反转运动拖动电动机。完成主轴旋转运动。并通过进给机构实现刀具的进给运动；
  - ▣ 2) M2为冷却泵拖动电动机，提供冷却液；
  - ▣ 3) M3(2.2kW)为拖动刀架快速移动的快速移动电动机，为实现快速停车，一般采用机械制动或电气反接制动；
  - ▣ 4) 有必要的保护和联锁，有安全可靠的照明电路。



# 电气控制线路

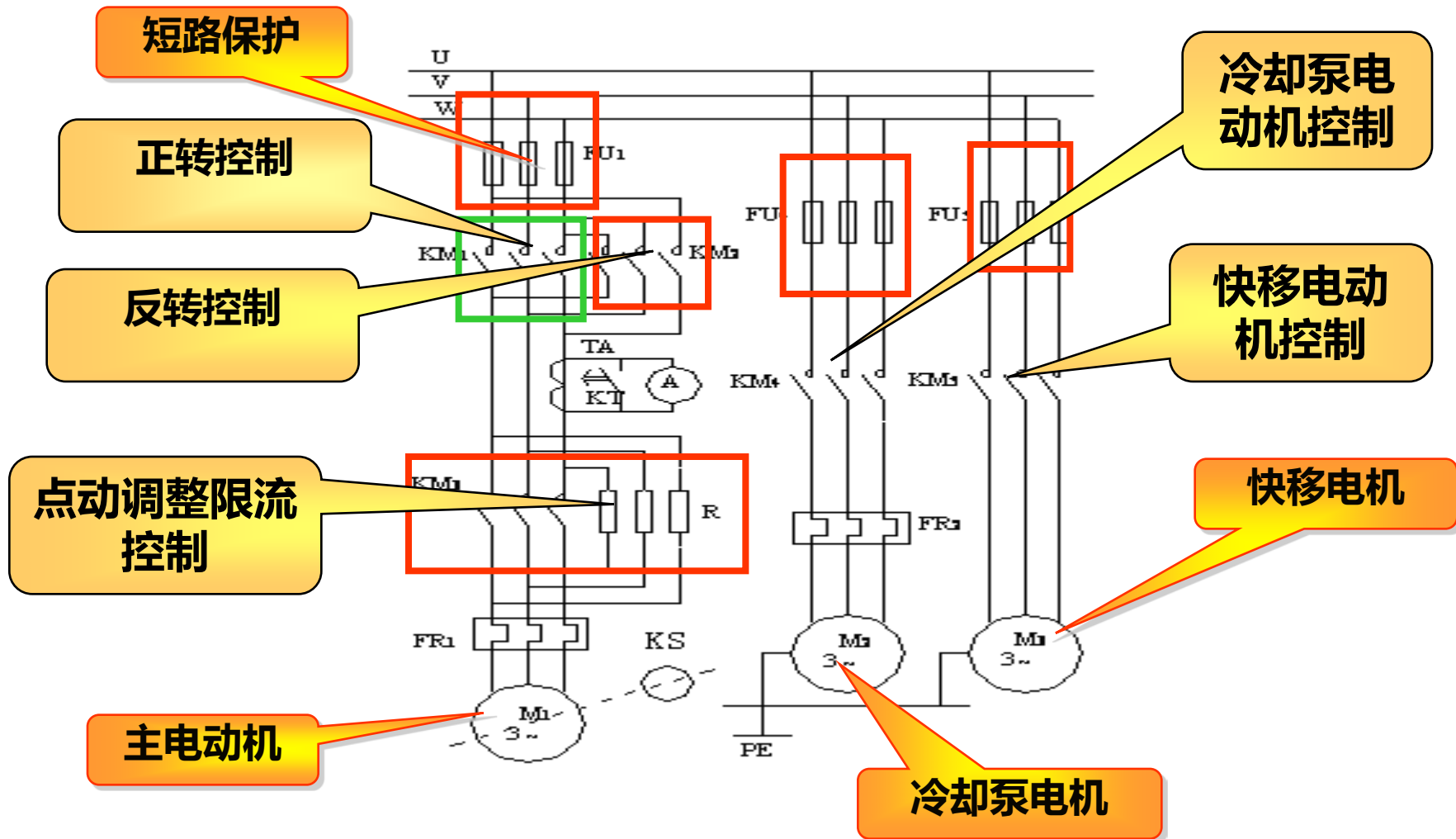
- 1) 主轴电动机的点动控制
- 2)  $M_1$  的正转、反转、停车控制
- 3)  $M_1$  的反接制动控制
- 4) 刀架快速移动控制



- 5) 冷却泵电动机的控制
- 6) 主轴电动机负载检测及保护环节



# 电路控制分析



# 我们继续吧！

